

SÉRIE A, N° 541
N° D'ORDRE : 1265

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

M. Paul BECQUEREL

PRÉPARATEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LA VIE LATENTE DES GRAINES
2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 24 juin 1907 devant la Commission d'examen.

MM. G. BONNIER..... *Président.*

CHATIN..... } *Examineurs.*
HAUG..... }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1907

SÉRIE A, N° 541
N° D'ORDRE : 1265

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR



M. Paul BECQUEREL

PRÉPARATEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LA VIE LATENTE DES GRAINES

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le *24* juin 1907 devant la Commission d'examen.

MM. G. BONNIER..... *Président.*

CHATIN..... }
HAUG } *Examineurs.*

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1907

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

Doyen.	P. APPELL, <i>Professeur.</i>	Mécanique rationnelle.
Doyen honoraire.....	G. DARBOUX —	Géométrie supérieure.
Professeurs honoraires..	{ L. TROOST. Ch. WOLF. J. RIBAN.	
	LIPPMANN.....	Physique.
	BOUTY.....	Physique.
	BOUSSINESQ.....	Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD.....	Analyse supérieure et Al- gèbre supérieure.
	H. POINCARÉ.....	Astronomie mathématique et Mécanique céleste.
	Yves DELAGE.....	Zoologie, Anatomie, Phy- siologie comparée.
	G. BONNIER.....	Botanique
	DASTRE.....	Physiologie.
	DITTE.....	Chimie.
	GIARD.....	Zoologie, Évolution des êtres organisés.
	KOENIGS.....	Mécanique physique et ex- périmentale.
	VÉLAIN.....	Géographie physique.
Professeurs.....	GOURSAT.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	CHATIN.....	Histologie.
	PELLAT.....	Physique.
	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseign ^t P. C. N.)
	JANET.....	Physique —
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie physique.
	PAINLEVÉ.....	Mathématiques générales.
	HAUG.....	Géologie.
	TANNERY.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	RAFFY.....	Application de l'Analyse à la Géométrie.
	HOUSSAY.....	Zoologie.
	N.....	Chimie biologique.
	N.....	Zoologie, Anatomie, Phy- siologie comparée.
	N.....	Physique.
	N.....	Chimie.
	PUISEUX.....	Mécanique et Astronomie.
	LEDUC.....	Physique.
	HADAMARD.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
Professeurs adjoints....	MATRUCHOT.....	Botanique.
	MICHEL.....	Minéralogie.
	DAGUILLON.....	Botanique.
	BOUVEAULT.....	Chimie organique.
	BOREL.....	Théorie des fonctions.
	PRUVOT.....	Zoologie, anatomie, phy- siologie comparée
	CAULLERY.....	Zoologie, évolution des êtres organisés.
Secrétaire.....	A. GUILLET.	

A MON MAITRE

M. GASTON BONNIER

MEMBRE DE L'INSTITUT, PROFESSEUR A LA SORBONNE

En hommage profondément respectueux et en
témoignage de ma plus vive reconnaissance.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

RECHERCHES SUR LA VIE LATENTE DES GRAINES

Par Paul BECQUEREL

PRÉFACE

Le problème de la vie latente que l'on croyait parfaitement résolu, depuis une trentaine d'années, par les expériences de Doyère et de Claude Bernard, est remis en discussion.

En France plusieurs savants remarquables n'admettent plus que les rotifères, les anguillules et les graines, sous l'action d'une dessiccation prolongée puissent devenir aussi inertes que la matière brute, tout en conservant la possibilité de donner lieu à une véritable résurrection lorsqu'ils sont replacés dans des conditions favorables.

Ils pensent que tous les phénomènes d'échanges de matière et de transformation d'énergie ne peuvent jamais s'arrêter complètement dans le protoplasma, et qu'ainsi la vie latente n'est pas une vie suspendue, mais bien une vie extrêmement ralentie. Or à l'étranger, des savants beaucoup plus nombreux, s'appuyant sur des observations récentes, combattent cette manière de voir.

Devant tant d'opinions contradictoires il m'a paru qu'il serait intéressant d'étudier spécialement la vie latente de la graine, de faire des recherches sur la durée de son pouvoir germinatif, et d'examiner s'il ne serait pas possible de la conserver apte à germer pendant une durée indéfinie.

Dans ce travail, qui n'est qu'une esquisse d'une étude qui

pourra être approfondie davantage dans la suite, si j'ai touché à des questions très complexes, je n'ai nullement la prétention de les avoir entièrement résolues. Bien heureux serais-je de les avoir mises au point, et d'avoir indiqué des procédés d'expérience qui, appliqués patiemment et avec le temps, les résoudreont certainement.

Enfin je m'estimerai satisfait, si mon travail attire l'attention sur l'étude de la vie latente dans le règne végétal où, particulièrement dans les groupes inférieurs tels que les Algues, les Champignons, les Muscinées, les Cryptogames vasculaires, elle n'a été l'objet d'aucune recherche méthodique.

Avant d'entrer dans l'exposition de mon sujet, qu'il me soit permis d'adresser, à mon maître M. Gaston Bonnier, à M. Maquenne, membres de l'Institut, à M. Marin Molliard, chargé de cours de physiologie, tous mes plus vifs remerciements pour les renseignements et les conseils qu'ils ont bien voulu me donner.

Ce travail a été fait au laboratoire de botanique de la Sorbonne, de 1904 à 1907.

CHAPITRE I

VIE SUSPENDUE OU VIE RALENTIE

C'est dans le règne animal que la vie latente a été étudiée pour la première fois. Depuis les expériences de Leuwenhœk et de Spallanzani (1) sur les rotifères et les tardigrades, l'attention des biologistes s'est très souvent portée sur ce sujet et leurs observations ont donné lieu à d'ardentes discussions.

C'est en 1860, que les controverses devinrent les plus vives. En effet, à ce moment deux doctrines rivales, le vitalisme et l'organicisme, se partageaient le suffrage des savants. Les uns, et ils étaient alors les plus nombreux, considéraient la vie comme un mystérieux principe d'action qui anime la matière et la met en jeu. Les autres ne voyaient dans la vie que le résultat de l'organisation d'une substance spéciale, que la manifestation de l'activité de la matière organisée. Pour démontrer la justesse de leur conception, ces derniers s'appuyaient sur les phénomènes présentés par les animaux reviviscents. Ils croyaient avoir là l'exemple d'une véritable résurrection de cadavres sous l'action d'un pur phénomène physique, l'imbibition par l'eau.

La matière organisée desséchée des anguillules et des rotifères n'avait donc pas besoin d'un principe vital pour reprendre son ancienne activité. Comme les vitalistes attaquaient cette interprétation, de nouvelles expériences furent instituées par Davaine, Doyère et Pouchet, sous la surveillance d'une commission de savants que présidait Broca (2).

Il fut alors établi : 1° qu'il n'y a pas de vie appréciable dans les corps inertes des animaux reviviscents, 2° que ces corps conservent leur propriété de reviviscence dans des conditions incompatibles avec toute espèce de vie manifestée, notamment dans le vide sec pendant quatre-vingt-deux jours et à l'air libre pendant trente minutes, à la température de 100°.

Une dizaine d'années plus tard, Claude Bernard (3), dans ses

(1) Spallanzani, *Opuscules de physique animale et végétale*. Trans. Jean Senebier, 1787.

(2) P. Broca, *Rapport sur la question soumise à la Société de Biologie au sujet de la reviviscence des animaux desséchés*, 1861.

(3) Claude Bernard, *Leçons sur les phénomènes de la vie*, p. 69, t. I, 1878-1879.

admirables leçons sur les phénomènes de la vie communs aux végétaux et aux animaux, reprend cette étude de la vie latente, et l'applique au Règne végétal. Il est aussi un adversaire impitoyable du vitalisme, qu'il appelle si spirituellement « métaphysiologie » et il s'appuie sur les phénomènes de la reviviscence pour démontrer le déterminisme rigoureux des phénomènes vitaux.

Voici quelle est sa conception de la vie latente des graines :

« On peut dire que la vie latente des graines est purement virtuelle ; elle existe prête à se manifester si on lui fournit les conditions extérieures convenables. Mais elle ne se manifeste aucunement si ces conditions font défaut. La graine a en elle tout ce qu'il faut pour vivre, mais elle ne vit pas, parce qu'il lui manque les conditions physico-chimiques nécessaires.

« On aurait tort de penser que la graine dans ce cas présente une vie tellement atténuée que ses manifestations échappent à l'observation par le degré même de leur affaiblissement. Cela n'est vrai, ni en principe, ni en fait. En principe nous savons que la vie résulte du concours de deux facteurs, les uns extrinsèques empruntés au monde cosmique, les autres intrinsèques tirés de l'organisation. C'est une collaboration impossible à disjoindre et nous devons comprendre qu'en l'absence d'un de ces facteurs l'être ne saurait vivre.

« Il ne vit pas davantage lorsque les conditions de milieu n'existent pas que lorsqu'elles existent seules. La chaleur, l'humidité et l'air ne sont pas la vie, l'organisation seule ne la constitue pas davantage.

« En fait, nous voyons des graines qui sont conservées depuis des années et des siècles et qui après cette longue inaction peuvent germer et produire une végétation nouvelle. Ces graines sont restées pendant toute cette période si longue aussi inertes que si elles eussent été définitivement mortes.

« Si atténuées que fussent les manifestations vitales, l'accumulation et la prolongation des échanges les multiplieraient en quelque sorte et les rendraient sensibles. Cette vie réduite devrait s'user ; or, dans ces conditions, elle ne s'use pas. »

Ainsi Claude Bernard arrivait à la même conclusion que

celle adoptée par la Société de Biologie, dans le débat entre Davaine, Pouchet et Doyère :

Vie latente est synonyme de vie suspendue.

La question en était restée là pendant dix-huit ans, et personne ne doutait plus de la réalité de la vie suspendue des graines, lorsque deux éminents botanistes, Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier, en reprirent l'examen.

Ils abandonnèrent trois lots, renfermant le même nombre de graines et exactement pesées, le premier à l'air libre, le second dans l'air confiné et le troisième dans l'acide carbonique.

Après un séjour de deux ans, ils constatèrent que les graines avaient augmenté de poids notablement dans l'air libre, très peu dans l'air confiné et pas du tout dans l'acide carbonique.

Ils firent ensuite l'analyse de l'air confiné où avait séjourné le deuxième lot. Pour 50 graines de Pois, par exemple, pesant 7^{gr},254, ils s'aperçurent que l'atmosphère avait changé de composition ; elle renfermait 3,8 p. 100 d'acide carbonique et ne contenait plus que 14 p. 100 d'oxygène.

Les graines de ces trois lots furent mises en germination ; celles qui avaient été exposées à l'air libre germèrent dans la proportion de 90 p. 100, à l'air confiné dans la proportion de 45 p. 100, enfin dans l'acide carbonique aucune ne leva.

« La respiration se poursuit donc dans la vie latente et lorsqu'elle n'est plus possible, l'organisme périt. La vie de l'embryon n'est pas alors suspendue, elle sommeille seulement dans la graine, c'est une vie ralentie (1). »

Après des expériences si concluantes et qui s'opposent si nettement à la conception de Claude Bernard, on aurait pu penser que la véritable nature de la vie latente était désormais connue.

Mais il n'en est rien ; depuis 1890 jusqu'à ces derniers temps, un très grand nombre de savants sont venus apporter des faits qui sont en complet désaccord avec cette nouvelle manière de voir.

Ainsi Kochs (2), dans un travail sur la vie latente chez les

(1) Ph. Van Tieghem, *Traité de Botanique*, p. 938 ; 1891.

(2) Kochs, *Kann die Kontinuität der Lebensvorgänge zeitweilig völlig unterbrochen werden?* (Biol. Centralbl., X, 673-686, 15 décembre 1890).

animaux et les végétaux, publiait l'expérience suivante. Il plaçait des graines bien desséchées dans un récipient en communication avec un tube de Geissler; puis avec l'aide d'une machine pneumatique il faisait le vide le plus parfait qu'il pouvait et fermait ensuite son récipient. Au bout de quelques mois il faisait passer une étincelle électrique entre les deux électrodes du tube de Geissler qu'il examinait avec un spectroscope et constatait qu'il n'y avait aucune trace d'azote, ni de carbone. Les graines retirées du récipient germaient parfaitement.

D'après ces faits, l'auteur n'hésita pas à conclure qu'il y avait là un cas bien démonstratif de vie suspendue.

En 1894, Ewart (1), voulant se rendre compte de la respiration des graines, fit passer de l'air privé d'acide carbonique dans un ballon qui contenait des Pois. Cet air ressortait ensuite par une tubulure dans un flacon laveur à eau de baryte.

Après quinze jours d'expérience il ne lui a pas été possible de déceler dans l'eau de baryte la moindre trace de carbonate.

Dans un assez long mémoire (2), Casimir de Candolle a discuté les résultats des expériences de Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier.

Il a prétendu que les graines n'ont une vie ralentie que de courte durée pour faire place, après, à un arrêt complet de la respiration; le protoplasma doit alors devenir parfaitement inerte. A ce moment les graines peuvent être maintenues dans un milieu impropre à la respiration; il faudrait seulement qu'elles ne se trouvent pas en présence d'une substance toxique exerçant une action chimique nuisible sur le protoplasma, comme ce serait le cas par exemple dans une atmosphère d'acide carbonique.

L'auteur, pour prouver cette conception, a réalisé plusieurs expériences.

D'abord il a plongé cinq grains de Blé sous le mercure pendant trois mois; ces grains de Blé avaient été placés dans un petit sac métallique muni d'un fil de platine pour qu'il fût possible, en agitant le sac, de faire partir toutes les bulles d'air adhérentes.

(1) Ewart, *Vitality and Germination of seeds* (L. Pool. Biol. Soc., 207, 1894).

(2) Gasimir de Candolle, *Sur la vie latente des graines* (Arch. des Sc. physiques et naturelles, p. 33-497, 1893).

Au bout de ce laps de temps il constata que tous les grains de Blé germèrent parfaitement.

Ensuite, avec la collaboration de Raoul Pictet, il a soumis des graines de Pois, de Haricot et de Fenouil pendant quatre jours à la température de 100 degrés au-dessous de zéro ; toutes les graines levèrent.

Casimir de Candolle renouvela ces expériences avec d'autres espèces et pendant une durée beaucoup plus longue ; il plaça dans un réfrigérateur à air comprimé pendant cent dix-huit jours à une température de — 40° des grains de Blé, d'Avoine, de Lobélie, de Fenouil, de Sensitive. La plupart des graines levèrent, sauf celles de Sensitive et de Lobélie.

« Les résultats de ces expériences, dit C. de Candolle, me confirment dans l'idée que, chez les graines à l'état de vie latente, la vie finit au bout d'un certain temps par être complètement arrêtée, leur protoplasma devient tout à fait inerte, incapable à la fois de respirer et d'assimiler.

« Dans cet état il peut, sans souffrir aucunement, supporter les — plus brusques abaissements de température, et je suis porté à croire que les graines qui périssent dans ce genre d'épreuve sont celles dont le protoplasma n'ayant pas encore atteint l'inertie complète se trouve encore à l'état de vie ralentie. »

C'est à peu près vers la même époque que Jodin, de Reims (1), fit connaître le résultat de ses recherches, exécutées sur des graines de Pois, dans leur état de dessiccation naturelle, c'est-à-dire renfermant encore 10 à 12 p. 100 d'eau.

Trois de ses expériences sont à retenir. Dans la première il plaça à l'intérieur d'une cloche courbe pleine d'air, renversée sur le mercure, 10 Pois pesant 3^{gr},45. L'appareil avait été exposé à la lumière d'une fenêtre recevant directement la lumière solaire pendant quelques heures. Au bout de quatre ans et demi, après avoir fait l'analyse du contenu de la cloche, il constata que ces 3^{gr},45 de Pois avaient absorbé 2^{cmc},4 d'oxygène et produit 1 centimètre cube d'acide carbonique.

Toutes les graines avaient perdu leur pouvoir germinatif.

Dans la deuxième expérience il fit passer sous une autre

(1) V. Jodin, *Mémoire sur la vie latente des graines et leur germination* (Ann. agronom., t. XXIII, p. 430-471).

cloche courbe pleine d'air, 20 graines pesant 3^{gr},58 et renferma cet appareil dans une armoire obscure; après un séjour de quatre ans et sept mois, l'atmosphère de la cloche analysée montra qu'il n'y avait eu aucun échange gazeux appréciable, et pourtant toutes les graines avaient conservé la faculté de germer.

Enfin voici quelle fut la troisième expérience. Il introduisit 20 Pois pesant 3^{gr},64 dans une cloche étroite remplie de mercure, en prenant bien soin qu'aucune bulle d'air adhérente ne pût passer. Sur 10 Pois essayés quatre ans plus tard, 8 germèrent. Les 10 autres derniers Pois, essayés six ans après, ne donnèrent que cinq germinations assez pénibles. — Ainsi des Pois ont vieilli sans respirer ni subir aucun échange matériel avec l'extérieur. « Il s'est peut-être produit, suggère l'auteur, des réactions intra-moléculaires des substances protoplasmiques analogues à celles qui se passent dans une substance minérale amorphe se transformant lentement en variété cristalline. »

Lorsque ces résultats furent présentés par lui à l'Académie des Sciences, Armand Gautier exposa sa conception de la vie latente : « Les organismes desséchés en vie latente sont des machines aptes à fonctionner, des horloges montées prêtes à marquer l'heure. Ils ne deviendront le siège des manifestations qui constituent l'état de vie que si des causes matérielles déterminantes, l'humidité, la chaleur, une première vibration communiquée leur fournissent les conditions nécessaires à la réalisation de l'énergie virtuelle que tiennent en réserve leurs matériaux chimiques; alors seulement le passage et les transformations de cette énergie à travers les organismes complexes deviendront la cause des manifestations que nous appelons l'état de vie. Ces considérations, que j'émettais il y a quatre ans, reçoivent des expériences de Jodin une importante confirmation.

« Qu'un certain nombre de graines perdent au bout de quelques années le pouvoir de germer, c'est une conséquence de ce fait que les principes qui les constituent sont dans un état de tension de potentiel chimique. Ces principes se modifient donc lentement, mais rien ne démontre que cette modification soit une forme du fonctionnement vital. Ce qui est certain, c'est

qu'avec la transformation de ces principes l'organisation se modifie et avec elle l'aptitude à la reviviscence. »

Sans s'occuper de mettre en évidence les échanges gazeux de la graine, d'autres observateurs arrivent aux mêmes conclusions que celles d'Armand Gautier.

Ainsi, Giglioli (1) observa que des graines de Luzerne approximativement desséchées conservaient leur propriété germinative après un séjour de quinze ans dans des gaz tels que le chlore, le peroxyde d'azote, l'oxyde de carbone et l'acide chlorhydrique, puis dans des liquides tels que l'alcool absolu ou des solutions alcooliques de bichlorure de mercure.

Les graines avaient été enfermées dans des petits ballons de verre à deux tubulures qu'on avait scellées à la flamme d'un chalumeau, après y avoir fait pénétrer le gaz ou le liquide à expérimenter.

Dans l'oxyde de carbone et dans l'alcool absolu, les graines qui y avaient séjourné germèrent avec des taux de 66 à 84 p. 100. Giglioli attribuait la perte du pouvoir germinatif, dans ses expériences, à une dessiccation incomplète des graines.

Il pensait que des graines parfaitement desséchées étaient capables de conserver indéfiniment leur pouvoir germinatif, « comme le fer sec garde la propriété de rouiller ».

Romanes (2), après avoir laissé pendant dix-neuf mois des graines sèches dans des tubes scellés renfermant différents gaz, tels que l'oxygène, l'azote, l'hydrogène et après avoir constaté qu'il n'y avait eu aucune atteinte à leur puissance germinative, en a conclu que des graines en vie latente ne respirent plus.

Enfin plus récemment, Maquenne (3) s'est occupé également de cette question.

Il est aussi convaincu que si les graines continuent à dépenser lentement l'énergie qu'elles tiennent en réserve jusqu'à ce qu'elles meurent, la cause en est dans la petite quantité d'eau qu'elles renferment. Il en voit la preuve dans une expérience qu'il a exécutée avec des graines de Panais. Ces graines dessé-

(1) Italo Giglioli, *Sur la vie latente des graines* (Nature, 3 octobre 1895).

(2) Romanes, *Recherches sur la vie latente* (Proc. royal society, 16 novembre 1893).

(3) Maquenne, *Action des hauts vides sur la vie latente des graines* (C. R. Acad. des Sc., CXXXIV, p. 1243, 1902).

chées dans le vide et conservées dans le vide sec, à l'abri de l'humidité, pendant deux ans, ont gardé leur vitalité, alors que les graines témoins avaient perdu leur aptitude à germer. Voici une de ses expériences les plus intéressantes : il plaçait deux cents grains de Blé dans une ampoule de verre, reliée d'un côté à un petit manomètre par un serpentin de verre, et de l'autre côté à une trompe à mercure par une tubulure contenant de la baryte caustique anhydre. Pour faciliter le départ de l'eau, il chauffait l'ampoule à la température de 45°. Au bout d'une semaine la pression n'était plus mesurable. L'appareil comprenant l'ampoule à graines avec son manomètre avait été scellé, détaché de la trompe et mis en observation devant un cathétomètre pendant quatre mois. Le vide de $\frac{1}{100}$ de millimètre ne s'était pas maintenu. La pression s'était élevée de $\frac{1}{1000}$ de millimètre, puis n'avait plus subi que des variations imputables aux changements de la température ambiante.

Maquenne en a tiré la conclusion suivante : « En même temps que la respiration normale, la respiration cellulaires s'arrête dans le vide. Dans les graines sèches il doit y avoir un état d'équilibre stable et par conséquent une meilleure conservation du pouvoir germinatif. Sous l'influence de la seule dessiccation, la graine passe de l'état de vie ralentie à l'état de vie suspendue et toutes les fonctions végétatives cessent de s'accomplir. »

Par ce court historique qui sera complété à mesure que nous avancerons dans notre travail, on peut se rendre compte que les deux thèses de la vie latente : vie ralentie aérobie ou vie suspendue, paraissent s'appuyer sur des expériences également probantes.

CHAPITRE II

IDÉE DIRECTRICE DU TRAVAIL. — ROLE DU TÉGUMENT DE LA GRAINE.

En étudiant les expériences sur lesquelles la plupart des savants se sont appuyés pour démontrer la suspension complète de la vie, chez des graines plongées dans des milieux irrespi-

rables tels que l'alcool absolu, l'éther, le chloroforme, le mercure, l'azote, l'acide carbonique, le vide, un fait d'une importance capitale m'a frappé : c'est que toutes ces expériences ont porté sur des graines qui n'ont pas été décortiquées. C'est qu'on n'a pas tenu compte du rôle que pouvait jouer le tégument de ces graines, selon les différents degrés de sa perméabilité.

Or tant qu'il n'aura pas été prouvé que, dans ces expériences, l'embryon des graines a été en parfait contact avec ces milieux irrespirables, toutes les conclusions que l'on en a tirées n'auront aucune valeur scientifique.

En effet, si jamais le tégument de ces graines avait été dans toutes ses parties complètement imperméable, ce dont on ne s'est pas inquiété, le fait qu'entre le tégument et l'atmosphère tous les échanges gazeux sont rigoureusement supprimés ne donne aucunement le droit de conclure à la suspension de la vie. Il se peut très bien que la plantule ait pu vivre d'une vie très ralentie aux dépens des réserves et des gaz accumulés dans l'intérieur de ses cellules, de ses méats ou de ses faisceaux libéroligneux. Cette préoccupation du rôle du tégument a donc dominé toutes mes recherches et m'en a dicté le plan.

Elle m'a conduit à déterminer les différents degrés de perméabilité de plusieurs espèces de téguments et à refaire avec des graines perforées ou décortiquées la plupart des expériences de mes prédécesseurs.

Elle m'a encore suggéré d'étudier sous un nouveau point de vue les échanges gazeux de la plantule en vie latente. Enfin elle m'a porté à m'occuper de la longévité d'un très grand nombre d'espèces de graines, dans la nature ou encore dans certaines conditions artificielles qui ne peuvent être réalisées que dans le laboratoire.

§ 1. — Imperméabilité aux gaz de l'atmosphère du tégument de quelques graines.

Les nombreuses expériences réalisées au sujet des échanges gazeux à travers les membranes cellulaires par Barthélemy (1),

(1) Barthélemy, *C. R. Acad. des Sc.*, 1868; *Ann. Sc. nat.*, IX, p. 292.

Mangin (1), Henri Devaux (2), Molisch et Wiesner (3) nous ont appris que la perméabilité des parois cellulaires aux gaz dépendait de leur nature, de leur épaisseur et de leur état d'humidité et de sécheresse.

Les parois purement cellulosiques desséchées sont imperméables; celles qui sont imprégnées de cutine, de lignine, de subérine, sont très faiblement perméables.

Aussitôt qu'elles sont un peu imbibées d'eau, la pénétration des gaz se fait par diffusion selon la loi d'Exner (4). La vitesse de cette diffusion est alors proportionnelle à la solubilité du gaz dans la substance de la membrane cellulaire comme dans une lame liquide et à l'inverse de la racine carrée de la densité de ce gaz, ce qui est rendu par la formule

$$a = \frac{kb}{\sqrt{d}} \text{ dans laquelle :}$$

a = le volume de gaz diffusé dans l'unité de temps.

b = le coefficient de solubilité du gaz.

d = la densité du gaz.

k = une constante dépendant en particulier de l'épaisseur de la membrane.

Pour Wiesner, la membrane cellulosique se comporterait comme une feuille de gélatine dont la pénétrabilité par osmose diminuerait en raison de la dessiccation.

La pression mécanique introduite n'ouvrirait pas de nouvelles communications et ne retentirait aucunement sur le passage des gaz.

L'étude de la perméabilité du tégument des graines n'a jamais été faite méthodiquement. Je n'ai qu'à signaler une expérience de Wiesner et Molisch sur une portion du tégument desséché du Haricot, où ils ont constaté son imperméabilité. Mais ces auteurs n'en ont tiré aucune conclusion pour ce qui concerne les échanges gazeux de cette graine pendant sa vie latente.

(1) Mangin, *Recherches sur la pénétration des gaz dans les plantes* (Ann. de la Sc. agronom. franç. et étrang., I, 1888).

(2) Devaux, *Thèse de doctorat sur le mécanisme des échanges gazeux chez les plantes aquatiques*. Paris, Masson, 1889.

(3) Wiesner et Molisch, *Untersuchungen über die Gerbebewegung in der Pflanze* (Sitzb. d. K. Ak. d. Wiss. Vienne, 1889, vol. XVIII).

(4) Exner, *Wien. Ber.*, p. 263, 1877.

(La loi d'Exner n'est qu'une loi très approximative; elle a de nouveau été étudiée en Angleterre par Richardson et Adeney. *Phil. mag.*, p. 360, 1903.)

Pour se faire une idée de la manière dont le passage des gaz peut se réaliser entre l'embryon de la graine et l'atmosphère, il est nécessaire de se rendre compte de la morphologie et de la structure de son tégument.

L'anatomie comparée des téguments des graines a été l'objet de nombreux travaux, notamment de Sempolowski (1), de Strandmark (2), de Chatin (3), de Chalon (4), de Lemonnier (5), de Nobbe (6), de Godfrin (7), de Brandza (8), dans le détail desquels je ne puis entrer ici.

Cependant, de l'ensemble des résultats obtenus nous devons retenir que le tégument de la graine provient toujours de l'évolution du tégument externe de l'ovule et qu'il est généralement constitué de trois zones de cellules: un parenchyme entre deux épidermes dont le nombre des assises de cellules, comme leur forme et leur nature, dépendent étroitement de l'espèce considérée.

Une des zones, la plus interne, est fréquemment digérée dans l'évolution de l'embryon, chez beaucoup d'espèces.

A la surface du tégument, il y a parfois quelques stomates. Dans l'intérieur du parenchyme circule toujours un faisceau libéroligneux qui partant du funicule, donne naissance à des innervations comme dans une feuille.

Ce faisceau libéroligneux se trouve mis à nu, au milieu du hile, et montre sa section lorsque la graine mûre est détachée de son placenta.

Le tégument externe, malgré sa croissance, présente encore des traces du micropyle, par où se faisait l'entrée du tube pollinique pour aller féconder l'ovule.

Enfin, les membranes des différentes assises qui composent ces trois zones n'ont pas toutes la même structure et la même composition chimique.

(1) Sempolowski, *Inaugural Dissertation*. Leipzig, 1874.

(2) Strandmark, *Dissertation*. Lund, 1874.

(3) Chatin, *Sur le développement de l'ovule et de la graine* (Ann. des Sc. nat., 3^e série, XIX, 1874).

(4) J. Chalon, *La graine des Légumineuses*. Mons, 1875.

(5) Lemonnier, *Recherches sur la nervation de la graine* (Ann. des Sc. nat., 5^e série, XVI, 1872).

(6) Nobbe, *Handbuch der Semenkunde*. Berlin, 1876.

(7) Godfrin, *Étude sur les téguments des Angiospermes*. Nancy, 1880.

(8) Brandza, *Développement des téguments de la graine* (Revue générale de Botanique, III, page 1, 1891).

L'épiderme externe est souvent constitué de cellules ayant une forte cuticule, imprégnée de cutine ou de substances cireuses et des parois très épaisses et très lignifiées, tandis que le parenchyme possède des assises de cellules à membranes purement cellulósiques; l'épiderme intérieur comprend des cellules à parois très peu lignifiées, avec une cuticule souvent très mince.

Toutes ces cellules sont mortes, lorsque la graine a atteint sa maturité, et ne renferment plus la moindre trace de protoplasma.

Les assises qui entrent dans la composition du parenchyme et de l'épiderme interne sont presque toujours extrêmement refoulées et comprimées contre les assises fortement épaissies de l'épiderme externe (1).

Bien que cette structure du tégument varie beaucoup et puisse se simplifier ou se compliquer selon l'espèce à laquelle on s'adresse, néanmoins, cette esquisse générale que je viens d'en tracer nous montre que les échanges gazeux ne pourront se faire, dans ces conditions, que de deux manières: soit par une osmose très lente, à travers toutes les assises membraneuses du tégument, soit par l'entrée directe des gaz dans les points faibles tels que le micropyle, les stomates et le hile où s'ouvrent les faisceaux libéroligneux.

Or, dans la graine ayant atteint un certain état de dessiccation pendant sa vie latente, est-ce que le tégument est imperméable dans toutes ses parties, est-ce que le hile et le micropyle laisseraient passer les gaz?

Ce problème, qui est résolu rien que par leur structure anatomique pour la plus grande majorité des espèces de graines appartenant aux Composées, aux Graminées, aux Polygonées, ne l'est pas du tout pour certaines espèces de Légumineuses, de Crucifères, de Malvacées, etc., dont on s'est servi dans la plupart des expériences réalisées au sujet de la vie latente.

Pour le résoudre, j'ai construit un appareil bien plus simple que ceux employés par Devaux, Detmer et Wiesner dans

(1) Dans cette description, je ne parle pas des graines à téguments mous très perméables, telles que celles des Amentacées, des Bétulacées, des Rosacées et de beaucoup de Renonculacées.

ces sortes de recherches. Cet appareil permet de déterminer le passage des gaz à travers n'importe quel tissu végétal dans des conditions de température et de pression rigoureusement définies et pendant un intervalle de temps aussi long que l'on veut.

Cet instrument, d'une extrême simplicité, n'exige l'emploi d'aucune trompe à mercure, d'aucune machine pneumatique.

Il est composé d'un tube de verre de 85 centimètres de longueur et de 5 millimètres de diamètre.

A l'une de ses extrémités, avec l'aide d'un mastic imperméable composé d'un mélange de cire blanche et de colophane fondues, j'ai fixé le tégument de la graine dont je voulais étudier la perméabilité.

Ensuite, j'ai procédé au remplissage du tube, soigneusement desséché par du mercure bien pur et bien sec, en ayant soin, par des petits chocs, de chasser toutes les bulles d'air.

Après avoir accompli cette opération, j'ai placé l'extrémité du tube qui portait le tégument dans le col d'un petit ballon contenant le gaz à expérimenter.

J'ai alors fermé hermétiquement le col de ce ballon avec de la cire Golaz, puis ayant obturé avec le doigt l'extrémité ouverte du tube pour que le mercure ne puisse s'échapper, j'ai retourné l'appareil sur une petite cuve pleine de mercure.

J'ai ainsi obtenu un véritable baromètre terminé par une portion de tégument de graine qui plongeait dans le milieu gazeux à étudier.

Le changement de niveau de la colonne de mercure du tube, comparé avec celui du niveau de la colonne de mercure d'un tube témoin identique fermé à la flamme et qui servait de baromètre, indiquait si le changement de niveau était dû à la variation de la pression atmosphérique ou au passage du gaz du ballon à travers la membrane.

Si, au bout d'un certain temps, du gaz a traversé, il est facile par un dispositif spécial de faire passer ce gaz, en retournant le tube plein de mercure sous une éprouvette pleine de mercure.

On peut alors le mesurer et l'analyser ensuite avec l'appareil de Bonnier et Mangin.

Les expériences ont porté sur le tégument des graines de Pois, de Lupin, de Févier, de Ricin, de Haricot, de Fève.

Expériences sur la perméabilité des téguments exposés à l'air sec, qui ont duré pour chaque espèce quinze jours.

ESPECE.	PARTIE EXPÉRIMENTÉE.	Niveau initial de la colonne mer- curielle du tube à expérience.	Niveau final du même tube après quinze jours.	Niveau initial de la colonne mercurielle du tube témoin.	Niveau final.
		millim.	millim.	millim.	millim.
Pois.....	Portion du tégument opposée au hile.....	743	746	748	751
	Portion du tégument contenant le hile.....	741	744	—	—
	Cotylédon.....	742	0	—	—
Lupin.....	Portion du tégument opposée au hile.....	741	745	743	747
	Portion du tégument contenant le hile.....	745	749	—	—
	Cotylédon.....	740	0	—	—
Haricot.....	Portion du tégument opposée au hile.....	747	744	750	747
	Portion du tégument contenant le hile.....	749	746	—	—
	Cotylédon.....	747	0	—	—
Févier.....	Tégument + albumen.....	748	750	749	751
	Cotylédon.....	749	0	—	—

A l'air saturé d'humidité pendant quinze jours.

ESPECE.	PARTIE EXPÉRIMENTÉE.	Niveau initial de la colonne mer- curielle du tube à expérience.	Niveau final après quinze jours.	Niveau initial de la colonne mercurielle du tube témoin.	Niveau final.
		millim.	millim.	millim.	millim.
Pois.....	Tégument opposé au hile.....	750	590	752	749
Lupin.....	Tégument contenant le hile...	752	612	—	—
Févier.....	Tégument + albumen.....	751	748	—	—
Haricot.....	Tégument opposé au hile.....	750	588	—	—

A l'air sec et à l'air libre du laboratoire pendant deux ans.

ESPÈCE.	PARTIE EXPÉRIMENTÉE.	Niveau initial de la colonne mer- curielle du tube à expérience.	Niveau final après deux ans.	Niveau initial de la colonne mercurielle du tube témoin.	Niveau final.
		millim.	millim.	millim.	millim.
Pois à l'air sec.	Portion du tégument contenant le hile.....	745	747	746	748
Lupin à l'air sec.	Portion du tégument contenant le hile.....	747	749	—	—
Lupin à l'air libre.	Portion du tégument contenant le hile.....	745	747	—	—
Févier à l'air libre.	Tégument.....	746	748	—	—

De la lecture de ces trois tableaux représentant les résultats des expériences exécutées sur le tégument et les cotylédons de quelques graines, on peut tirer les conclusions suivantes :

1° *Le tégument du Lupin, du Pois, du Févier, lorsqu'il a atteint une certaine dessiccation, est imperméable à l'air sec dans toutes ses parties, même dans celle qui possède le hile et le micropyle.*

Cependant il faut signaler, pour le Pois et même pour le Lupin, bien que cela soit plus rare, que par suite d'une mauvaise dessiccation ou d'un détachement trop brusque du funicule qui peut avoir lieu selon le mode de récolte employé, il arrive que l'on trouve des hiles perméables dans la proportion de 10 à 20 p. 100. Le Haricot a toujours un micropyle et un hile perméables.

2° *Les cotylédons de ces graines se comportent comme des corps poreux.*

En effet, les gaz passent au travers avec une grande rapidité en suivant les lois physiques de la diffusion.

J'ai pu constater que la vitesse de passage était rigoureusement proportionnelle à la pression.

La porosité des cotylédons est un fait très important lorsque l'on pense à ses conséquences. La porosité présente toujours une capacité très grande d'absorption des gaz. Multipliant à l'intérieur de la graine les surfaces de contact avec

l'air, elle augmente ainsi la surface et le volume de la couche d'air qui les recouvre, par simple adhérence capillaire.

Cela donne une indication précieuse pour l'atmosphère interne des graines qui doit être très appréciable.

3° *Le tégument des mêmes graines, sauf celui du Févier, exposées dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau arrive à un moment donné à s'imbibler suffisamment pour laisser passer les gaz avec une très grande lenteur. Ce passage des gaz se fait selon les lois de la diffusion.*

Cependant, il ne faut pas oublier que tous les téguments ne se laissent pas imbiber avec la même facilité. Cela dépend beaucoup de leur état de dessiccation et de leur espèce. Le tégument du Févier en est la preuve.

Ce fait avait déjà été entrevu par Henri Coupin, dans ses recherches sur l'absorption de l'eau par les graines.

Plus récemment, après que j'ai eu publié ces résultats, Joseph Gola m'a fait remarquer, que dans la nature, il y a chez les Légumineuses un très grand nombre d'espèces de graines dont le tégument dans toutes ses parties est imperméable à l'eau. Ainsi il y a des graines d'Acacie, d'Astragale, de Luzerne, de Trèfle et de Févier qui peuvent rester, sans se gonfler, trois mois dans de l'eau, dont la température est de 20° C.

4° *Les mêmes téguments exposés à l'air libre du laboratoire et dans l'air sec des ballons pendant deux ans ont été complètement imperméables dans toutes leurs parties.*

L'hygrométrie de l'atmosphère n'a eu aucune action, car le vide initial s'est maintenu dans les tubes pendant toute cette durée.

L'ensemble de ces résultats justifie pleinement les critiques que j'ai formulées dès le début de ce travail contre l'interprétation des expériences réalisées par Kochs, Giglioli, Jodin, Romanes, qui se sont servis de graines à téguments imperméables, appartenant aux Légumineuses et aux Crucifères, telles que la Luzerne, le Trèfle, le Lupin, le Pois, la Moutarde.

Dans toutes ces expériences le protoplasma n'était pas en contact avec les milieux essayés. Il n'était pas non plus privé de son milieu vital interne. Une certaine quantité d'eau et d'air

pouvait subsister et être très suffisante pour assurer les besoins d'une vie ralentie, même dans le vide le plus rigoureux.

A ce propos, je ne connais rien de plus démonstratif que la simple expérience réalisée par Davis (1), pour démontrer comment les rotifères enkystés dans une gaine de mucilage peuvent résister à la dessiccation.

Ce savant, après avoir recouvert d'une couche de gélatine tous les grains d'une grappe de raisin et les avoir fait sécher, suspendit cette grappe sous une cloche dans le vide au-dessus d'une coupe pleine d'acide sulfurique. Il l'y laissa huit jours. Au bout de ce temps la grappe de raisin ressortit aussi fraîche et aussi juteuse que si elle avait été conservée à l'air libre.

Ce fait peut être aussi vrai pour des graines de Légumineuses au tégument imperméable, comme pour des graines de Crucifères dont le tégument possède une assise de cellules mucilagineuses desséchées.

§ 2. — Imperméabilité du tégument de certaines graines à l'alcool absolu.

On a attribué au protoplasma à l'état de vie latente des propriétés spéciales qu'il ne posséderait pas pendant sa vie manifestée. Ainsi il pourrait résister à l'action de l'alcool absolu et se maintenir dans ce liquide pendant une très longue période sans subir aucune altération.

Ce fait avait déjà attiré l'attention de Claude Bernard, mais sur d'autres organismes que des graines; il avait constaté que de la levure de bière desséchée à une température de 40 degrés et conservée dans de l'alcool absolu depuis un an et demi, reproduisait la fermentation alcoolique après une macération de vingt-quatre heures dans de l'eau sucrée.

Dans un travail relatif à la résistance de certaines graines à l'action de divers agents chimiques, Giglioli s'était inspiré de cette expérience en la répétant sur des graines de Luzerne et de Trèfle. Il vit alors que ces graines artificiellement desséchées conservaient leur pouvoir germinatif même après un séjour de

(1) Davis, *Result. of experiments on the dessiccation of Rotifers* (Micr. Journ., IX, 201-209, 1873).

seize années dans de l'alcool absolu, et dans des solutions alcooliques de bichlorure de mercure. Le taux des germinations obtenues était encore de 66 p. 100.

L'auteur attribuait cette légère baisse du pouvoir germinatif à une dessiccation défectueuse, car selon lui, dans ce milieu, les graines sèches devaient conserver indéfiniment leur aptitude à germer.

Comme cet auteur n'a pas tenu compte du rôle que pouvait jouer le tégument, je me suis demandé si l'alcool avait bien pénétré dans l'intérieur de la plantule et des cotylédons.

J'ai alors repris ces expériences, en les modifiant et en les appliquant à plusieurs autres espèces de graines, telles que le Pois, le Lupin, le Haricot, le Fève, le Blé.

Je fis quatre lots : le premier comprenait des graines dont le tégument était intact; elles se trouvaient dans l'état de dessiccation naturelle qu'elles possèdent un an après leur récolte.

Le second lot était composé de graines à dessiccation identique, mais dont le tégument était perforé.

Le troisième lot renfermait des graines qui avaient gonflé pendant plusieurs heures dans de l'eau distillée. Enfin le quatrième lot contenait les graines témoins.

Les trois premiers lots furent plongés dans l'alcool absolu pendant huit jours.

Aubout de ce temps, les graines furent retirées de ce milieu, essuyées et mises à germer sur le coton hydrophile humide d'un cristalliseur enfermé dans une étuve à la température de 28° C. Cinq jours après, je constatais les résultats suivants que résume ce tableau.

ESPÈCE DES GRAINES.	NOMBRE de graines es- sayées.	1 ^{er} LOT. Graines à tégu- ment intact.	2 ^e LOT. Graines à tégu- ment perforé.	3 ^e LOT. Graines imbi- bées d'eau.	4 ^e LOT. Graines té- moins.
Pois.....	10	9	0	0	10
Lupin.....	10	10	0	0	10
Luzerne.....	50	42	0	0	50
Trèfle.....	50	45	0	0	48
Fève.....	10	8	0	0	8
Blé.....	50	47	0	0	50
Haricot.....	10	0	0	0	10

Ainsi presque toutes les graines de Pois, de Luzerne, de Trèfle, de Lupin, de Fécier et de Blé, dont le tégument avait été laissé intact et desséché, germèrent.

Toutes les autres, dont le tégument avait été perforé ou humidifié perdirent leur pouvoir germinatif.

Il y a cependant une exception à signaler. Aucune des graines de Haricot de n'importe quel lot qui avaient été plongées sous l'alcool ne manifesta son aptitude à germer.

Cette exception confirme les résultats des autres expériences ; car la graine de Haricot possède un tégument dont le hile est toujours perméable.

Désirant savoir si l'alcool avait bien attaqué la plantule, j'ai décortiqué des graines qui avaient séjourné dans ce liquide.

J'ai alors constaté que toutes les graines à tégument plissé ou humidifié étaient jaunies et gaufrées, tandis que toutes les autres dont le tégument avait été intact étaient blanches.

En pratiquant des coupes dans les racines jaunies et en les examinant, au microscope, après coloration dans le carmin, j'ai vu que les noyaux des cellules avaient fixé ce réactif et que le protoplasma avait été fortement plasmolysé.

Avec l'aide du réactif iodoformé, à la température de 60° C., j'ai pu mettre en évidence la présence de l'alcool dans l'intérieur des cellules de l'épiderme et de l'écorce.

Par contre, toutes les coupes opérées sur des racines blanches soumises aux mêmes réactifs, ne donnèrent pas du tout ces réactions.

J'ai refait de nouvelles expériences en les prolongeant pendant un an sur les mêmes espèces de graines à l'état de dessiccation naturelle.

J'ai alors constaté que le tégument du Blé et le tégument du Pois s'étaient laissés, à la longue, traverser par l'alcool, puisque toutes les plantules avaient perdu leur pouvoir germinatif.

Les graines de Lupin germèrent avec le taux de 60 p. 100 et celles de Luzerne et de Trèfle avec celui de 90 p. 100.

Ces expériences établissent d'une manière indiscutable que pour certaines espèces de graines même dans leur état de dessiccation naturelle, par conséquent imparfaitement desséchées, leur tégument

a pour l'alcool absolu une imperméabilité suffisante pour protéger la plantule contre son action destructive.

Dans ces conditions, on s'explique facilement pourquoi Giglioli a pu conserver pendant seize années dans de l'alcool absolu ou dans des solutions alcooliques anhydres de bichlorure de mercure, des graines de Trèfle et de Luzerne desséchées.

D'un côté, l'alcool protégeait la graine contre toute absorption d'eau qui aurait pu activer ses échanges respiratoires, de l'autre en desséchant continuellement le tégument, il se le rendait impénétrable et s'interdisait toute action nocive sur la plantule.

Quant au déclin du pouvoir germinatif des graines de Trèfle et de Luzerne que Giglioli avait attribué à une imparfaite dessiccation, il s'explique tout autrement, puisque cette imparfaite dessiccation n'a pas du tout nui à nos expériences.

Il serait dû soit aux blessures légères du tégument de ces graines produites par les opérations qu'exige leur récolte, soit à la mauvaise fermeture du micropyle ou des vaisseaux ligneux du hile, soit encore à la vie ralentie de la graine, qui a pu dépenser pendant ces seize années consécutives toutes ses réserves d'aliment et d'énergie.

Le protoplasma de la graine à l'état de vie latente n'a donc pas la propriété de résister à l'action de l'alcool absolu.

On ne peut plus se fonder sur les expériences de Giglioli, dont l'interprétation a été erronée, pour affirmer que, dans ce cas, la vie de la graine est parfaitement suspendue.

§ 3. — Imperméabilité du tégument de quelques graines aux vapeurs et aux liquides d'éther et de chloroforme.

Plusieurs physiologistes se sont occupés de l'action des anesthésiques sur la germination des graines.

Claude Bernard (1) avait déjà démontré que des graines dans une atmosphère humide chargée de vapeur de chloroforme ou d'éther, étaient incapables de germer. Mais dans ces expériences, les graines, après s'être imbibées d'eau, avaient

(1) Claude Bernard, *Leçons sur les phénomènes de la vie*, p. 95.

passé de la vie latente à la vie manifestée et respiraient très activement.

Que se serait-il passé si les graines avaient longtemps séjourné à l'état de vie latente en présence de la vapeur de l'un de ces anesthésiques. C'est ce que Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier (1) se sont demandé. Après avoir expérimenté sur des caryopses de Blé et sur des graines de Pois, de Haricot et de Fève, ils ont remarqué que les vapeurs de chloroforme et d'éther influaient sur la germination.

Non seulement elles ralentissaient la croissance de la plante, mais elles pouvaient encore l'anéantir, si leur action avait été suffisamment prolongée. Ils ont vu aussi, que dans la rapidité de cette action le tégument jouait un grand rôle retardateur.

Une dizaine d'années plus tard, Henri Coupin (2), reprenant l'étude de cette question, mais en opérant sur des graines plus sèches, arriva à une conclusion tout à fait opposée. Pour lui, le protoplasma desséché des graines à l'état de vie latente ne subissait aucune action de la part des anesthésiques, il avait acquis une immunité spéciale vis-à-vis de ces substances.

Enfin, dans ces derniers temps, Kurzvelly (3), dans ses recherches sur la résistance des organismes végétaux desséchés aux substances toxiques, et Schmidt (4), dans son travail sur l'action des vapeurs de chloroforme sur les semences, attaquèrent les conclusions de Henri Coupin et adoptèrent celles de Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier.

Me trouvant en présence d'une opinion controversée, j'ai étudié de plus près cette question.

Je n'ai pas seulement varié les expériences de mes prédécesseurs en les faisant porter plus longtemps sur des espèces nouvelles de graines, mais j'en ai encore institué de nouvelles

(1) Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier, *Bull. de la Soc. de bot. de France*, p. 148, 28 avril 1882.

(2) Henri Coupin, *Action des vapeurs anesthésiques sur la vitalité des graines sèches* (C. R., t. CXXIX, p. 561, 1895).

(3) Kurzvelly, *Résistance des organismes végétaux desséchés aux substances toxiques* (Jahrb. f. wiss. Bot., t. XXXVIII, p. 341, 1901).

(4) Schmidt, *Action des vapeurs de chloroforme sur les semences* (Ber. Deutsch. Bot. Ges., p. 71, 1901).

pour connaître le rôle de l'éther et du chloroforme à l'état liquide, qui n'avait pas été élucidé; ensuite pour rechercher les modifications morphologiques et chimiques produites sur le contenu des cellules de l'embryon.

Les graines sur lesquelles mes investigations ont porté ont été celles du Pois, du Trèfle, de la Luzerne et du Blé. Ces graines furent réparties en cinq lots.

Le premier lot comprenait des graines au tégument intact dont la dessiccation était naturelle, c'est-à-dire telles qu'elles se trouvent chez les grainetiers après une année de leur récolte.

Le deuxième lot était constitué de graines ayant un tégument perforé dont la dessiccation était naturelle.

Le troisième lot se composait de graines au tégument intact, desséchées artificiellement avec l'aide du vide, de la baryte caustique à la température de 45° , pendant une semaine.

Le quatrième lot renfermait des graines avec tégument perforé, dans le même état de dessiccation artificielle.

Enfin le cinquième lot était formé des graines témoins.

Chaque lot de graines fut ensuite partagé en quatre parts égales et chaque part fut placée le 24 mars 1904 dans un flacon contenant du chloroforme ou de l'éther à l'état liquide ou de vapeur. Pour faire agir les vapeurs, nous nous sommes servis de ce dispositif. Nous avons versé les anesthésiques dans des petits tubes de verre placés au fond des flacons.

Ces seize flacons obturés par des bouchons à l'émeri, qui avaient été revêtus après par de la paraffine fondue, furent mis dans un placard à l'abri de la lumière dont l'action aurait pu décomposer le chloroforme ou nuire à la faculté germinative des graines. Le 22 mars 1905, après un séjour d'une année, une partie des graines fut retirée et étendue sur du papier filtre pour que les vapeurs et les liquides dont elles étaient imprégnées puissent s'évaporer.

Ensuite, au bout de quelques jours, ces graines furent portées sur du coton hydrophile humide dans autant de verres qu'il y avait de flacons, et bientôt après nous constatons les résultats suivants :

Vapeur de chloroforme.

ESPÈCE DE GRAINES.	NOMBRE en expérience.	1 ^{er} LOT. Graines intactes à dessiccation naturelle qui ont germé.	2 ^e LOT. Graines perforées à dessiccation naturelle.	3 ^e LOT. Graines intactes desséchées artifi- ciellement.	4 ^e LOT. Graines perforées desséchées artificiellement.	5 ^e LOT. Graines témoins.
Pois	10	7	0	10	0	9
Lupin blanc.....	10	6	0	8	0	7
Trèfle.....	50	43	0	48	0	44
Luzerne.....	50	42	0	46	0	50
Blé.....	10	0	0	0	0	10

Chloroforme liquide.

ESPECES DE GRAINES.	NOMBRE en expérience.	1 ^{er} LOT. Graines intactes à dessiccation naturelle qui ont germé.	2 ^e LOT. Graines perforées à dessiccation naturelle.	3 ^e LOT. Graines intactes desséchées artifi- ciellement.	4 ^e LOT. Graines perforées desséchées artificiellement.	5 ^e LOT. Graines témoins.
Pois.....	10	8	0	8	0	»
Lupin	10	7	0	7	0	»
Trèfle.....	50	40	0	48	0	»
Luzerne	50	45	0	47	0	»
Blé.....	10	0	0	0	0	»

Vapeur d'éther.

ESPÈCE DE GRAINES.	NOMBRE en expérience.	1 ^{er} LOT. Graines intactes à dessiccation naturelle qui ont germé.	2 ^e LOT. Graines perforées à dessiccation naturelle.	3 ^e LOT. Graines intactes desséchées artifi- ciellement.	4 ^e LOT. Graines perforées desséchées artificiellement.
Pois	10	8	0	10	0
Lupin	10	6	0	7	0
Trèfle.....	50	41	0	46	0
Luzerne	50	38	0	48	0
Blé.....	50	0	0	0	0

Ether liquide.

ESPÈCE DE GRAINES.	NOMBRE en expérience.	1 ^{er} LOT. Graines intactes à dessiccation naturelle qui ont germé.	2 ^e LOT. Graines perforées à dessiccation naturelle.	3 ^e LOT. Graines intactes desséchées arti- ficiellement.	4 ^e LOT. Graines perforées desséchées artificiellement.
Pois.....	10	8	0	9	0
Lupin.....	10	5	0	6	0
Trèfle.....	50	40	0	48	0
Luzerne.....	50	51	0	46	0
Blé.....	50	0	0	0	0

La plupart des graines de Pois, de Luzerne, de Trèfle et de Lupin au tégument intact du premier lot, la plupart de celles du troisième lot germèrent.

Toutes les graines au tégument perforé, desséchées artificiellement ou non, qui avaient subi dans les mêmes conditions les actions de ces anesthésiques, avaient perdu leur pouvoir germinatif.

Il n'y eut qu'une exception pour le grain de Blé de Bordeaux dont le tégument a été perméable.

Ainsi les téguments secs de certaines graines appartenant aux Légumineuses, comme le Pois, le Lupin, le Trèfle et la Luzerne, composées de plusieurs assises de cellules à parois fortement cutinisées et d'un reste d'albumen desséché mucilagineux paraissent être aussi imperméables aux liquides et aux vapeurs de chloroforme et d'éther que pour l'alcool absolu.

Cette imperméabilité devient d'autant plus parfaite que la dessiccation a été mieux assurée; en effet le nombre des graines qui ont levé a toujours été plus grand dans le troisième lot.

Par contre, les membranes des cellules qui composent la plantule et les cotylédons, à leur état ordinaire et maximum de dessiccation sont perméables à ces liquides et à ces vapeurs qui, une fois qu'ils ont pénétré, déterminent la perte du pouvoir germinatif.

J'ai aussi essayé de me rendre compte de ce qui s'était passé dans l'embryon des graines dont le tégument avait été perforé.

Pour cela j'ai pratiqué des coupes comparables dans des radicules mortes et vivantes de Pois et de Lupin.

Ces coupes ont été traitées pendant quelques minutes dans une solution aqueuse de rouge neutre très étendue, puis au microscope observées dans une goutte d'eau.

Les cellules de l'épiderme de l'écorce et même du cylindre central des radicules tuées par le chloroforme étaient fortement plasmolysées. Le sac protoplasmique très contracté était entièrement détaché de la membrane cellulaire. Le noyau, d'un rouge beaucoup plus intense, montrait par les irrégularités de sa forme qu'il avait subi une certaine dégénérescence, les grains d'aleurone et d'amidon semblaient être intacts.

Pour savoir s'il n'y avait pas eu d'altération dans les albuminoïdes, nous avons fait agir toujours comparativement sur quelques-unes des coupes le réactif de Milon (1). La réaction n'a pas été la même sur la cellule tuée que sur la cellule vivante.

La cellule chloroformée donnait une coloration d'un rouge brique très pâle, très effacé, nous indiquant qu'il y avait dû avoir là quelques modifications chimiques spéciales.

Quelques gouttes de chloroforme où avaient séjourné les graines décortiquées ayant été évaporées, laissèrent comme résidu de nombreuses gouttelettes de matière grasse.

Les mêmes recherches ont été faites sur les cellules des radicules de Pois et de Lupin tués par l'éther. Le protoplasma et le noyau étaient en général moins contractés. Le réactif de Milon n'a pas présenté pour les albuminoïdes les différences que nous avions obtenues plus haut. Enfin l'évaporation du liquide a aussi décelé la présence des matières grasses.

En résumé, le chloroforme et l'éther ayant dissous les matières grasses de la cellule n'en ont pas moins eu une action toute différente : l'un a plus fortement plasmolysé le contenu cellulaire que l'autre; il a commencé par désorganiser les substances albuminoïdes.

Ainsi le protoplasma desséché des graines n'a pas la propriété spéciale d'échapper à l'action des anesthésiques lorsqu'il est placé directement en contact avec eux. Comme le protoplasma en vie active, il en subit toutes les influences.

(1) Les graines dont nous nous sommes servis avaient été soigneusement essuyées et soumises pendant plusieurs jours à l'évaporation à l'air libre.

CHAPITRE III

RÉSISTANCE DES GRAINES AUX TEMPÉRATURES
EXTRÊMES

§ 1. — Action de la chaleur.

La résistance des graines à l'action de la chaleur a été déjà très étudiée. Je ne ferai que rappeler ce qui a été publié à ce sujet.

Dans ses recherches sur l'Alucile, Doyère (1), depuis longtemps, a constaté que du Blé séché dans le vide pouvait supporter, sans perdre son pouvoir germinatif, une température de 100°.

Pouchet (2) a découvert que des graines de Luzerne, plongées dans l'eau bouillante pendant quatre heures, germaient encore en assez grande quantité après ce traitement.

Dans un travail assez étendu, Just (3) a démontré que des graines de Trèfle bien desséchées peuvent résister pendant une heure à une température de 120°. On y réussit lorsque la chaleur est bien sèche et qu'on la fait agir graduellement. Au-dessous de 100°, peu de graines de Trèfle meurent ; à 100°, la proportion augmente ; à 122°, 1 grain d'Orge sur 100 a pu encore lever ; des grains d'Avoine portés à cette température ont pu résister trois heures. Au-dessus de 122°, toutes les graines les plus sèches sont mortes.

Selon Detmer (4) et Sachs (5), des graines de Pois, de Maïs, de Blé, desséchées à l'air, ne peuvent pas être exposées pendant une heure à des températures de 65 et 70° sans que leur pouvoir germinatif n'en soit pas un peu atteint.

Cependant Haberlandt a vu des graines sèches de Trèfle résister à 100° pendant quarante-huit heures.

(1) Doyère, *Recherches sur l'Alucile* (Ann. de l'Inst. agronomique, I, 1852, p. 269-379).

(2) Pouchet, C. R. de l'Acad. des Sc., t. LXIII, p. 939, 1866.

(3) Just, *Ueber der Einwirkung höherer temperaturen* (Cohns Beiträge zu Biol. d. Pflanzen, 1877).

(4) Detmer, *Vergleich. Physiol. d. Keimungsprocessus d. Samen*, p. 101, 1880.

(5) Sachs, *Traité de Botanique*.

Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier (1) ont réalisé plusieurs expériences sur les céréales.

Ils ont remarqué que les graines dont la vie latente est la plus résistante à l'action des températures élevées, comme celles du Blé et de l'Avoine, ne germent plus, quand après plusieurs jours elles sont complètement desséchées à 100°, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'elles ne perdent plus de poids à cette température.

Au-dessous de cette température, entre 73 et 80°, le Blé peut être complètement desséché et conserver son pouvoir germinatif. Dans un travail publié à l'Académie des sciences, V. Jodin (2) a constaté que des graines de Pois et de Cresson desséchées peuvent être maintenues 800 heures à l'étuve à la température de 65°.

Cette immunité ne s'observe que si l'on chauffe en vase ouvert de façon à permettre l'élimination rapide de l'eau hygrométrique.

Des graines de Pois et de Cresson chauffées en tube scellé perdent leur faculté germinative à 40° au bout de 500 heures.

Mais si dans les tubes scellés on introduit des desséchants, comme la chaux vive, les graines conservent encore leur faculté de germer après sept mois à 40°.

Plus récemment, H. Dixon (3) a fait plusieurs expériences, dont voici les résultats. Au bout d'une heure, des graines desséchées de *Papaver somniferum* et de *Papaver nudicaule* supporteraient une température de 100°. Celles de *Mimulus moschatus* 105°, *Brassica Napus* 110°, *Pisum sativum* 112°, *Nicotiana Tabacum* 112°, *Lactuca sativa* 114°, *Convolvulus tricolor* 120°.

Tous ces faits démontrent que le protoplasma desséché des graines peut supporter pendant un certain temps une température qui ne peut guère dépasser 120° sans être mortelle.

Jusqu'à cette limite extrême, le degré le plus élevé de température à laquelle une graine pourra résister dépendra de la constitution de ses réserves, et surtout de son degré de déshydratation.

(1) Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier, *Sur la vie latente des graines* (Bull. de la Soc. de Bot., avril 1882, p. 150).

(2) Jodin, *C. R. de l'Acad. des Sc.*, CXXIX, p. 893, 1899.

(3) Dixon, *Nature Lond.*, t. LXIV, p. 256-257, 1901.

Les substances albuminoïdes se coagulent sous l'action de la chaleur. Or, si les graines peuvent résister à des températures dépassant beaucoup cette limite, c'est parce que leurs albuminoïdes, par suite de la déshydratation, ont acquis la faculté de ne pas se coaguler.

Ce fait a été mis en lumière depuis longtemps par le beau travail de Chevreul (1) sur la dessiccation des tissus et des substances de l'organisme.

Si on dessèche lentement l'albumine de l'œuf au-dessous de 45°, elle devient jaune et cassante en perdant 90 p. 100 d'eau ; si ensuite on ajoute de l'eau, elle se redissout de nouveau.

Quand l'albumine se trouve à cet état de dessiccation, on peut la soumettre à une température sèche élevée sans qu'elle perde la faculté de se redissoudre. Ce travail a été repris par Lewith (2) en 1890.

Il a trouvé que l'albumine d'œuf, filtrée en solution aqueuse, a pour température de coagulation 56°.

Avec 25 p. 100 d'eau, cette température de coagulation recule vers 74 et 80° ; avec 18 p. 100, cette limite atteint 80 à 90° ; avec 6 p. 100, 145° ; sans eau, de 160 à 170°. Ainsi le protoplasma pourrait reculer ses limites de coagulation en cédant graduellement de l'eau.

§ 2. — Action des basses températures.

L'action des basses températures est beaucoup plus intéressante. C'est sur elle que plusieurs observateurs se sont appuyés pour prouver que tous les phénomènes physico-chimiques de la vie pouvaient être parfaitement suspendus.

Dans un mémoire intitulé *De l'influence de la température sur la germination*, Edwards et Colin (3) ont rapporté que des grains de Blé, d'Orge, de Seigle, et des graines de Fève exposées pendant quelques minutes au froid de — 40° produit par l'évaporation dans le vide de l'acide sulfureux liquide, ont

(1) Chevreul, *Mém. du Mus. d'hist. nat. de Paris*, t. XIII, 1819.

(2) Lewith, *Ueber die Ursache der Wiederstandsfähigkeit der sporen gegen hohen Temperaturen* (Arch. f. exper. Pathol., XXVI, p. 341, 1890).

(3) Edwards et Colin, *Comptes rendus*, 1834.

germé comme si elles n'eussent pas subi cette épreuve.

Vingt-six ans plus tard, Wartmann (1) reprit ces expériences. Elles portèrent sur les graines des espèces suivantes : *Linaria bipartita*, *Clarkia elegans*, *Nemophila insignis*, *Lepidium sativum*, *Hordeum vulgare*, *Triticum sativum*, *Avena sativa*, *Portulaca oleracea*, *Escholtzia californica*. Après avoir fait trois lots de ces graines, il a réservé le premier comme terme de comparaison. Le second a été placé dans un tube de verre mince hermétiquement fermé et refroidi pendant une demi-heure à -57° centigrades dans un bain d'acide sulfureux liquide. Le troisième lot de graines, également renfermé dans un tube de verre bien scellé, a été d'abord disposé à l'intérieur d'un récepteur métallique dans lequel de l'acide carbonique liquéfié à l'aide de l'appareil de Netterer se solidifia à -78° . Ce tube a été ensuite entouré d'une pâte formée d'un mélange de cet acide avec l'éther sulfureux et placé dans le vide d'une bonne trompe pneumatique ; l'expérience a duré vingt minutes, et la température est descendue à -110° . Toutes les graines semées ont germé.

En 1878, C. de Candolle et Raoul Pictet (2) ont recommencé ces expériences ; ils se sont proposé d'augmenter la durée du froid.

Pendant dix heures consécutives, ils ont porté à une température oscillant de -30° à -50° des graines de *Lepidium sativum*, de *Sinapis alba*, de *Brassica oleracea*, de *Triticum vulgare*. Ces graines n'avaient subi aucune dessiccation, toutes germèrent, sauf celles du Blé qui avaient eu un accident. Les graines avaient reçu de l'acide sulfureux liquide.

M. Wartmann, en 1881, a étendu ses recherches à des semences plus charnues et d'un plus gros volume ; il a exposé pendant deux heures à un froid de -110° des marrons d'Inde recueillis l'automne dernier ; ils avaient été enveloppés dans une mince feuille d'étain afin d'empêcher que l'épiderme n'eût à souffrir du contact de l'éther sulfurique formant pâte avec l'acide carbonique liquide dans le vide pneumatique. Tous les marrons mis en terre germèrent.

(1) E. Wartmann, *Influence des froids excessifs sur les graines* (Arch. Sc. phys. nat. de Genève, p. 277, 1860. — *Id.*, V, p. 340, 1881).

(2) De Candolle et Pictet, *Arch. Sc. phys. nat.*, II, p. 354 et 629, 1878.

A peu près vers la même époque, Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier (1) ont fait des expériences sur des graines d'Érable. Ils avaient remarqué que toutes les graines d'Érable, pendant l'hiver si rigoureux de 1879, où la température était descendue à -25° avaient été gelées. Cela était une exception au fait général de l'innocuité des basses températures pour les graines.

En opérant avec un mélange réfrigérant produisant une température de -22° , ils virent que toutes ces graines d'Érable étaient congelées. A une température plus haute, entre -15° et -17° , les mêmes graines exposées pendant quatre heures n'ont subi aucune atteinte. Ainsi le point de congélation de l'embryon de l'Érable est situé quelque part vers -20° . Les graines de Gui, qui possèdent un embryon vert comme celui de la graine d'Érable et qui conservent une assez grande proportion d'eau, n'ont pas été gelées durant cet hiver.

En 1884, C. de Candolle et Raoul Pictet (2) ont voulu soumettre plus longtemps et à une température plus basse, différentes espèces de graines : *Phaseolus vulgaris*, *Sinapis alba*, *Fœniculum officinale*, *Gloxinia hybrida*; enfermées dans des tubes scellés à la lampe, maintenus à une température de -100° pendant quatre jours, elles ont très bien germé.

En 1895, ils ont recommencé ces mêmes expériences, dont j'ai donné, au commencement de ce travail, les résultats. Pendant cent dix-huit jours, des graines de Fenouil, de Blé, d'Avoine, résistèrent à une température de -40° .

Enfin, depuis que l'on peut produire facilement par la liquéfaction de l'air et de l'hydrogène de très basses températures, toute une nouvelle série de curieuses observations a été réalisée.

Brown et Escombe (3) ont soumis des graines sèches enfermées dans des tubes scellés à la température de l'air liquide pendant cent dix heures consécutives entre -180° et -192° .

Les grains d'Orge, d'Avoine, de Seigle, les graines de Courge,

(1) Van Tieghem et Gaston Bonnier, *Recherches sur la vie latente* (Ann. agronomiques, p. 521, 1880).

(2) De Candolle et Pictet, *Arch. des Sc. phys. nat. de Genève*, XI, 325, 1884, et XXX, 293, 1895.

(3) Brown et Escombe, *Proc. roy. Soc.*, LXII, 160-165, 1897.

de Cyclamen, de Pois, de Balsamine, d'Hélianthème, de Liseron, ont parfaitement bien germé.

Thyselton Dyer (1), avec le concours de Dewar, a plongé pendant une demi-heure, dans l'hydrogène liquide, des graines de Courge, de Pois et de Blé enfermées dans des tubes.

Il a pu aussi immerger directement des grains d'Orge dans l'hydrogène liquide pendant six heures. Toutes ces graines ont très bien levé. La température, évaluée par Dewar, était de -250° .

Dans toutes ces expériences, plusieurs points très importants n'ont pas été étudiés.

Les embryons ayant été protégés contre la pénétration de l'air liquide par leur tégument, nous ne savons pas ce qui se serait passé si celui-ci avait été perforé.

De même il aurait été intéressant de savoir quelle action aurait eu l'air liquide sur des graines contenant des proportions plus ou moins grandes d'eau et qui commencent à passer de la vie latente à la vie manifestée.

L'examen du contenu des cellules après cette action n'a pas non plus été effectué.

Pour toutes ces raisons, j'ai refait les expériences de mes prédécesseurs, en apportant toute mon attention sur ces points qui ont été négligés.

Les graines sur lesquelles porta mon investigation furent partagées en quatre lots, placés chacun dans des petits tubes de verre que fermait un bouchon de liège percé.

Le premier lot contenait dans leur état de dessiccation naturelle des graines non décortiquées, de Ricin, de Pin pignon, de Courge, de Févier, de Sarrasin, de Maïs, de Blé, d'Avoine, de Fève, de Lupin, de Pois, de Vesce, de Luzerne, de Navet, de Radis, de Cresson alénois.

Le deuxième lot était constitué de graines de Ricin, de Pin pignon, de Courge, de Maïs, de Blé, de Fève, de Pois, de Lupin, de Vesce et de Radis se trouvant dans le même état de dessiccation naturelle, c'est-à-dire renfermant de 10 à 15 p. 100 d'eau, mais ayant leur tégument perforé.

(1) Thyselton Dyer, *Proc. Chem. Soc.* t. LXV, p. 361, et *Ann. Botany*, XIII, p. 599-606, 1901.

Les graines qui composaient le troisième lot avaient été desséchées par le vide, la baryte caustique à la température de 40° pendant un mois. C'était celles de Ricin, de Pin pignon, de Courge, de Sarrasin, de Maïs, de Fève, de Pois et de Lupin.

Enfin, le quatrième lot comprenait des graines de Pois, de Luzerne, de Lupin et de Fève ayant gonflé dans l'eau pendant douze heures.

Les quatre tubes qui contenaient ces lots furent plongés dans l'air liquide d'un ballon argenté à deux parois entre lesquelles le vide avait été réalisé.

Au bout de cent trente heures d'action d'une température qui devait osciller entre — 185° et — 192°, après évaporation de l'air liquide, j'ai retiré les graines. Une partie fut mise à germer et l'autre fut conservée pour être étudiée. Quinze jours plus tard, nous constatons les résultats suivants :

ESPÈCES.	NOMBRE des graines en expérience.	1 ^{er} LOT. Graines non perforées.	2 ^e LOT. Graines à tégument perforé.	3 ^e LOT. Graines des- séchées.	4 ^e LOT. Graines gon- flées d'eau.
Ricin.....	4	1	0	4	»
Pin pignon.....	4	2	0	4	»
Courge.....	5	2	0	5	»
Févier.....	5	1	2	»	»
Sarrasin.....	5	4	3	5	»
Maïs.....	4	3	2	4	»
Blé.....	6	6	6	»	»
Avoine.....	6	6	»	»	»
Fève.....	4	4	4	3	0
Lupin.....	4	4	3	2	0
Pois.....	6	6	6	6	0
Vesce.....	6	6	6	»	»
Luzerne.....	10	10	»	»	0
Navel.....	10	8	»	»	»
Radis.....	10	10	9	»	»
Cresson alénois.....	10	10	»	»	»

Dans le premier lot, n'avaient germé parfaitement que les graines de Radis, de Cresson alénois, de Luzerne, de Vesce, de Pois, de Lupin, de Fève, d'Avoine et de Blé.

Par contre, les graines de Sarrasin, de Maïs, de Févier, de Courge, de Pin pignon et de Ricin, beaucoup plus riches en eau, ne fournissaient que quelques germinations.

Parmi les graines décortiquées du deuxième lot, seules les

graines renfermant 6 à 12 p. 100 d'eau, le Pois, la Fève, le Lupin, la Vesce, le Radis, le Blé avaient levé.

Dans le troisième, toutes les graines desséchées germèrent ; toutes celles du quatrième lot qui, gonflées, se trouvaient à l'état de vie manifestée furent anéanties.

Ayant examiné plusieurs graines qui furent tuées, j'ai constaté que la mort ne pouvait être due qu'à deux causes agissant soit séparément, soit simultanément, les variations brusques de pression des gaz contenus dans les tissus, notamment dans les faisceaux libéroligneux de l'embryon et la congélation du contenu de la cellule.

La graine de Courge décortiquée, qui a pu résister quand elle a eu son tégument, est l'exemple le plus typique d'une graine tuée par les variations trop brusques de pression qu'ont subies les gaz accumulés dans les faisceaux libéroligneux ; toute une partie de la radicule et de la tigelle est parcourue par des fentes nombreuses qui partent en rayonnant du cylindre central. Les cotylédons séparés de l'axe hypocotylé ont pu cependant verdier, ce qui prouve que, sans l'explosion qui a morcelé l'embryon, la plantule aurait bien pu germer.

L'action simultanée de ces deux causes précitées se rencontre dans quelques graines de Ricin où non seulement la radicule de l'embryon et l'albumen sont remplis de fentes, mais où encore les cellules examinées au microscope dans une solution de rouge neutre, nous offrent la plupart des phénomènes de décollement du sac protoplasmique et de la contraction du noyau déjà décrits par Molliard et Matruchot dans leur étude sur la congélation cellulaire (1).

De l'ensemble de ces résultats se dégagent les conclusions suivantes :

1° *Pour qu'une graine puisse résister à l'action des basses températures, il faut qu'elle soit d'abord à l'état de vie latente ;*

2° *La décortication qui permet à l'air liquide de pénétrer dans l'intérieur des cotylédons et d'entourer toutes les cellules, n'a aucun effet appréciable sur la vie latente (2) ;*

(1) Molliard et Matruchot, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 788.

(2) Le tégument donne plus de solidité à la graine et souvent l'empêche d'éclater pendant les brusques variations des pressions gazeuses. Ceci est facilement constatable pour le Ricin et la Courge.

3° La résistance des graines à l'état de vie latente aux basses températures dépend uniquement de la quantité d'eau et de gaz que renferment leurs tissus. Si cette quantité d'eau et de gaz est suffisante, le froid désorganise le protoplasma et le noyau et rend tout retour à la vie impossible; mais si le protoplasma a atteint déjà par la dessiccation son maximum de concentration et, par là même, son minimum d'activité, il échappe complètement à l'action des basses températures, il ne gèle pas et la graine conserve son pouvoir germinatif comme par le passé.

§ 3. — La vie est-elle suspendue par l'action des basses températures ?

Maintenant, peut-on se baser sur ces expériences pour affirmer qu'à ces basses températures la vie est parfaitement suspendue ?

Voici ce qu'en pense Raoul Pictet (1), dont l'opinion est acceptée par Casimir de Candolle, Brown et Escombes, Thyselton Dyer, Mac Fayden, qui ont expérimenté avec l'air et l'hydrogène liquides.

« — 100° C., tous les phénomènes chimiques sans aucune exception sont anéantis et ne peuvent plus se produire. Les actions chimiques, qui par principe même doivent se manifester dans le protoplasma vivant, sont supprimées *ipso facto* à — 200° C.

« — Nous nous trouvons ainsi, au moment où l'on réchauffe ces organismes refroidis, dans d'excellentes conditions pour caractériser un des côtés principaux de la vie, à savoir si elle prend naissance spontanément dans un organisme mort pré-existant.

« — Si la vie, semblable au feu des Vestales, devait disparaître à jamais de l'organisme une fois qu'on l'aurait laissée s'éteindre, les germes, une fois morts (et ils le sont), devraient rester morts.

« — Au contraire, ils vivent, ils se développent comme si ce refroidissement n'avait pas eu lieu. La vie est une des manifestations des lois de la nature au même titre que la gravitation

(1) Raoul Pictet, *De l'emploi méthodique des basses températures en biologie* (Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève, XXIX, p. 5-27, 15 janv. 1893).

et la pesanteur. Elle demande pour se manifester, l'organisation préexistante. Celle-ci obtenue, chauffez, mettez l'eau et la lumière, et de même qu'une machine se met en marche, le germe vivra et se développera.

« — Si l'on pouvait créer de toutes pièces une structure organisée morte, les conditions physico-chimiques suffiraient pour y développer tous les phénomènes vitaux de la vie végétative. »

Quoi qu'en ait dit Raoul Pictet, la suspension de la vie par le froid n'est pas encore aussi certaine qu'il l'affirme.

Tous les phénomènes chimiques ne sont pas suspendus.

Moissan, qui a fait avec Dewar de brillantes expériences sur l'action chimique des basses températures, m'a affirmé qu'à -250°C . tous les phénomènes d'oxydation chimique n'étaient pas suspendus, mais seulement beaucoup ralentis.

Moissan et Dewar (1) ayant obtenu le fluor solide sous la forme de cristaux incolores à -223°C ., le mirent en équilibre de température puis en contact avec de l'hydrogène liquide. A ce moment, la combinaison se produisit avec une violente explosion et inflammation de l'hydrogène gazeifié.

Du fluor liquide se combine à l'hydrogène avec explosion, même à -210°C .

La phosphorescence n'est pas non plus abolie par les basses températures.

Mon oncle Henri Becquerel (2) a aussi démontré qu'à la température de l'ébullition de l'air liquide le rayonnement pénétrant de l'uranium reste sensiblement le même qu'à la température ordinaire.

Curie a constaté également que le chlorure de radium, à la température de l'air liquide, continue à exciter la phosphorescence du sulfate double d'uranyle et de potassium et à émettre de la chaleur.

Tous ces faits nous démontrent que l'activité de la matière à ces basses températures n'est pas du tout anéantie.

Dans ces conditions on ne peut pas affirmer que la vie est complètement arrêtée dans la graine par ces basses températures.

(1) *Bull. de la Soc. chimique*, 17-932.

(2) Henri Becquerel, *Recherches sur une propriété nouvelle de la matière*, p. 243, 1903. Gauthier-Villars.

La vérité, c'est qu'on n'en sait rien.

Pour résoudre ce problème, il faudrait des expériences d'une durée qui dépasse de beaucoup la longévité du pouvoir germinatif des graines et ne jamais constater, même après des années d'immersion dans l'air liquide, le moindre phénomène respiratoire comme la plus petite atténuation de leur faculté germinative.

Maintenant, comment expliquer cette énorme résistance du protoplasma à l'action de pareilles températures ?

D'Arsonval, en se basant sur des expériences réalisées avec de la levure de bière sèche, croit que le secret de sa résistance doit être recherché dans les énormes pressions osmotiques combinées à la tension superficielle que peut supporter le protoplasma concentré des cellules ; aussitôt que par l'humectation on abaisse la pression osmotique, la cellule meurt.

Henri Jumelle (1), qui a fait un beau travail sur la physiologie des végétaux aux basses températures, a remarqué que la respiration s'affaiblit rapidement avec l'abaissement de température et qu'elle n'était pas décelable vers -18° C. pendant que l'assimilation, notamment chez l'Épicea et les Lichens, continuait même à -40° C. Pour lui aussi, la résistance des plantes à l'action des basses températures s'expliquerait par ce fait, c'est que le point de congélation de l'eau et du protoplasma se trouverait fortement abaissé par suite de la concentration de la substance, et par l'action des forces capillaires qui doivent être considérables dans l'intérieur des pores intermoléculaires de la membrane et du contenu cellulaire.

Le protoplasma doit échapper à la congélation bien probablement pour les mêmes raisons qu'il a échappé à la coagulation lors de l'action des hautes températures. C'est certainement à la déshydratation qu'il doit son immunité. Et ici le froid provoque une déshydratation encore plus complète que la chaleur. Il ne doit pas y avoir dans la graine, à ces températures extrêmement basses, une parcelle d'eau libre. Le protoplasma de la graine congelée a atteint une rigidité spéciale. La graine jetée par terre rebondit, avec un bruit un

(1) Henri Jumelle, *Sur les phénomènes de la respiration et de l'assimilation des Lichens aux basses températures* (Rev. gén. de Bot., t. IV).

peu sonore, comme si elle avait acquis une sorte d'élasticité. Écrasée avec le marteau, elle se réduit en une poussière, qui s'humecte avec une assez grande rapidité, avec l'eau hygrométrique de l'atmosphère.

Je crois que si on répétait les expériences de Chevreul et de Lewith, avec de l'albumine de l'œuf délayée dans des quantités de plus en plus petites d'eau et si on soumettait cette albumine à l'action des basses températures, on verrait que la limite de la congélation reculerait avec le degré de déshydratation et qu'à un moment donné, l'albumine parfaitement déshydratée ne serait plus du tout désorganisée.

CHAPITRE IV

DURÉE DE LA VIE LATENTE DES GRAINES

Aussi, pour trancher définitivement la question de savoir si la vie latente est une vie suspendue, il n'y aurait que l'épreuve du temps qui serait décisive.

En effet, si on démontrait que, dans certaines conditions, la substance protoplasmique des cellules de l'embryon devenait inaltérable et conservait ainsi indéfiniment son pouvoir germinatif, le problème serait résolu.

Or, la nature nous présente-t-elle des cas de longévité presque indéfinie de la part des graines ? C'est ce que je m'en vais rechercher en m'appuyant à la fois sur tous les documents que j'ai pu recueillir et sur toutes les expériences que j'ai réalisées.

D'une manière générale, la durée de la faculté germinative des graines de la plupart des Phanérogames n'est pas encore très bien connue. Elle varie considérablement, non seulement d'une espèce à une autre, mais encore entre les individus d'une même espèce. Car elle dépend de la résultante d'un grand nombre de facteurs externes ou internes que la graine subit selon son mode de conservation et suivant sa nature.

La température, l'hygrométrie de l'atmosphère, l'air, l'eau, la lumière, l'enfouissement dans le sol, les bactéries, les

animaux, enfin le degré de perméabilité des téguments de la graine et d'altérabilité de ses réserves sont autant de causes qui agissent directement sur la vitalité de l'embryon.

Pour se renseigner sur la durée du pouvoir germinatif, on ne peut s'adresser qu'à l'examen des graines provenant de quatre sources différentes.

1° Graines enfermées dans les sépultures anciennes.

2° Graines enfouies dans le sol.

3° Graines conservées dans des herbiers et dans des collections.

• 4° Graines mises en expérience par des savants.

Je m'en vais passer en revue tous les faits tirés de ces quatre données et les soumettre à une critique minutieuse, car il importe, sur ce sujet où il règne à l'heure actuelle tant d'erreurs, de ne retenir que ce qui est rigoureusement vrai ou vraisemblable.

§ 1. — Graines des anciennes sépultures.

Ce sont les sépultures des anciens Pharaons qui nous ont apporté des graines de la plus haute antiquité.

Les Égyptiens avaient coutume en ensevelissant leurs morts de laisser auprès d'eux une ample provision de graines, notamment de grains de Blé, de Seigle et d'Orge, pour nourrir ce qu'ils appelaient le double, cette espèce d'âme qui restait toujours enfermée dans la tombe.

Un de ces grains de Blé ayant donné une germination, fut présenté à l'Académie des sciences de Paris dans une de ses séances en 1857 (1). Mais on s'aperçut bientôt que le grain de Blé qui avait germé n'était pas authentique. Le premier, Alphonse de Candolle fit remarquer que la plupart des grains de momie ne germaient jamais (2). Decaisne présenta aussi la même observation. Mais la légende qui prétendait que tous les grains des sarcophages conservaient encore leur pouvoir germinatif n'en continuait pas moins son cours. De nombreux voyageurs revenus d'Égypte affirmaient toujours la véracité de

(1) *Comptes rendus*, t. LXIV, p. 473.

(2) A. de Candolle, *Origine des plantes cultivées*, p. 250. Paris, 1883.

ce fait et montraient dans leur collection plusieurs grains de Blé achetés aux Arabes qui donnaient d'admirables végétations.

Dans une lettre adressée à Griffon, professeur à l'école de Grignon (1), qui lui demandait des renseignements à ce sujet, Maspero a répondu :

« Les expériences faites se divisent en deux séries :

1° Celles qui ont porté sur des graines achetées aux Fellahs comme venant des tombeaux ; 2° celles qui ont porté sur des graines trouvées dans les tombeaux par les personnes mêmes qui les ont données aux expérimentateurs ou qui les ont expérimentées.

« Dans le premier cas, le Blé lève presque toujours ; dans le second, il ne lève jamais, à ma connaissance. La conclusion est facile à tirer. Les Fellahs, toujours à l'affût de quelque gain, mêlant aux grains authentiquement anciens qu'ils vendent, des grains récents de façon à en doubler au moins la quantité, les grains anciens ne lèvent pas, mais les autres lèvent. J'ai trouvé beaucoup de grains, Blé, Orge, Chanvre, Lin et autres dans les tombeaux. Les uns avaient été légèrement grillés, les autres passés dans un lait de chaux dont la trace était visible encore, les autres avaient été mis dans le tombeau sans préparation aucune, au moins sans préparation qu'on pût apprécier au moment de la découverte. Jamais aucun de ces derniers n'a levé, non plus que les autres. »

Gain (2), chargé de cours à Nancy, a pu d'ailleurs se procurer plusieurs grains authentiques de Blé pharaonique datant de la IX^e dynastie, c'est-à-dire de 2 000 ans environ avant notre ère ; il a remarqué que l'embryon, séparé de l'albumen, recroquevillé sur lui-même est en partie résorbé ou détruit, en outre tous les tissus se détachent les uns des autres et tombent en poussière. Dans une autre note très intéressante sur le vieillissement des grains (3), il a constaté que l'embryon des céréales pharaoniques est atteint d'une brunissure rougeâtre très

(1) *Revue générale de Botanique. Revue des travaux de physiologie*, p. 326, t. XIII, 1901.

(2) Gain, C. R., LXXX. *Sur les grains de blé pharaoniques*, p. 1643, 1900.

(3) *Ibid.*, CXXXIII. *Sur le vieillissement des graines de Graminées*, p. 1248, 1901.

accentuée qui, selon lui, est le résultat du vieillissement naturel des substances grasses du protoplasma.

Unger (1) a recueilli à Thèbes des grains d'Orge et de Blé provenant de la boue et de la paille desséchée qui entraient dans la composition de la pyramide de Dahour. Il a aussi constaté que ces grains avaient perdu la faculté de germer.

Ainsi on ne peut plus désormais invoquer comme preuve de la longue durée de la vie latente et comme exemple de vie suspendue, les grains authentiques qui proviennent des sarcophages et des pyramides d'Égypte.

Dans un travail général sur la vie latente, Pfflüger (2) raconte que des graines d'Héliotrope, de Luzerne et de Centaurée provenant de tombes romaines ont pu se conserver pendant plus de 1 000 ans. Nous ne savons pas si l'auteur a recueilli lui-même ces graines.

Mais un autre travail de Wittmark (3) sur les restes des plantes trouvées dans les fouilles de Pompéï infirme cette observation, car aucune graine authentique n'a pu lever.

On a aussi souvent cité le cas de longévité de certains grains de Blé qu'on aurait recueillis dans les anciens greniers de César à Gergovie et en Transylvanie, mais aucun document sérieux n'a été publié à cet égard.

Plusieurs traités classiques, et notamment le grand traité de botanique de Ph. Van Tieghem (4), parlent encore de graines provenant de tombes mérovingiennes du VII^e siècle qui auraient conservé jusque dans ces derniers temps leur faculté de germer.

Les faits rapportés ont été puisés dans une note de Charles Desmoulins parue dans les actes de la Société linnéenne de Bordeaux en 1846 (5).

Selon ce savant, quatre localités de la Dordogne où se trouvent situés ces tombeaux auraient fourni des graines anciennes :

(1) Unger, *Anat. et physiol. des plantes*. Vienne, 1850.

(2) Pfflüger, *Die allgemeinen Lebenserscheinungen*. Bonn, 1889.

(3) Wittmark, *Ueber die in Pompei gefundene pflanzlichen Reste* (Bot. Jahrb., XXXIII, N. S. Beiblatt 73, p. 56).

(4) Ph. Van Tieghem, *Traité de Botanique*.

(5) Charles Desmoulins, *Actes de la Soc. linn. de Bordeaux*, 1833-1846.

La Monzie, Saint-Lazare, Condé et Maidencastle. Les graines recueillies furent des graines de Lupuline, de Centaurée, d'Héliotrope, de Romarin, de Camomille et de Framboisier.

Seules, quelques graines des sépultures de La Monzie et de Saint-Lazare furent expérimentées par Brard qui les avait reçues de la part d'un archéologue, l'abbé d'Audiern.

Les graines avaient été semées dans de la terre qu'on avait fait bouillir pendant deux heures. Au bout de quelques jours, Brard vit lever des graines d'Héliotrope et de Lupuline. Quant aux graines mentionnées des autres tombes, on n'a aucun détail.

Comme toutes les sépultures antiques sont en briques disjointes très effritées et par conséquent très imparfaitement closes, il est bien difficile de certifier que toutes les graines qu'on y a trouvées aient l'âge authentique qu'on leur a attribué.

Alph. de Candolle doute aussi de leur antiquité et nous verrons plus loin, qu'en se basant sur nos expériences, son doute est parfaitement justifié; il n'y a aucune vraisemblance que des graines, si elles avaient été aussi âgées, aient germé.

Au musée d'Ethnographie du Trocadéro se trouvent encore des graines de céréales qui proviennent des sépultures péruviennes d'Ancon datant du *xvi^e* siècle. Gain (1) a étudié avec beaucoup de soin ces grains et il a démontré qu'ils se trouvaient à peu près dans le même état d'altération que les Blés de momie.

Tous présentaient la brunissure rousse, si caractéristique de leur vieillesse et avaient naturellement perdu la faculté de germer.

Enfin, Naudin, en 1852, a relaté que des graines de Framboisier recueillies dans une tombe celtique de Donchester auraient levé; selon lui, ces graines auraient passé près de 1700 ans en vie latente.

§ 2. — Observations sur les graines enfouies dans le sol.

Lorsqu'on remue le sol pour creuser des canaux ou des tranchées, pour ouvrir une carrière, faire un puits, découvrir

(1) Ed. Gain, *C. R.* CXXXIII. *Sur le vieillissement des Graminées.*

des ruines, ou poser des fondations, il arrive fréquemment que l'on voit apparaître subitement des plantes qui jusque-là n'avaient pas encore été observées dans la région.

Beaucoup de botanistes admettent alors que ces plantes étrangères proviennent de graines enfouies qui ont pu se maintenir en vie latente, en attendant pendant des années et même des siècles, les conditions favorables à leur germination.

Voici les observations les plus intéressantes qui aient été faites à ce sujet.

Dans une communication à la Société de Botanique, Michalet (1) a raconté qu'il avait trouvé des *Galium anglicum* sur des tas de graviers extraits d'une sablière creusée dans un terrain qui appartient à l'alluvion moderne de la vallée du Doubs. Comme cette espèce de *Galium* ne se rencontrait pas ailleurs, Michalet pensa qu'elle provenait de graines qui avaient été enfouies, il y a plus de trois mille ans.

Un autre botaniste découvrit sur la terre, retirée depuis un an, d'un puits creusé dans le lias de Shispton ou Stone, un *Glaucium luteum* dont les graines devaient avoir l'âge extrêmement reculé de cette couche géologique (2).

Von Heldreich, professeur et directeur du Jardin botanique d'Athènes, rencontra aussi une espèce subite de *Glaucium*, le *Glaucium Serpieri* sur un terrain dont on avait retiré une épaisse couche de scories.

Or, cette couche de scories provenait de l'exploitation de la mine ancienne du mont Laurium ; il en conclut que les graines avaient été recouvertes, il y a quinze cents ans, à une époque où la terre extraite de la mine fut jetée à la surface du sol.

A Paris, Boisduval (3), assistant à des fouilles que l'on faisait dans la Cité, a ramassé une terre noirâtre qui contenait des graines ; il mit ces graines à germer, et, à son grand étonnement, il vit lever des jeunes tiges de *Juncus bufonius*, de *Mercurialis annua* et d'*Urtica urens*.

(1) Michalet, *Germination des graines enfouies* (Soc. Bot. française, p. 334, 1860).

(2) Fait cité par Escombe dans son travail sur la vie latente des graines.

(3) Boisduval, cité dans le *Traité de Botanique* de Duchartre, p. 838.

Tous les cas de longévité de graines enfouies dans la terre depuis des milliers d'années, se trouvent en partie infirmés par les découvertes bien plus précises des savants suisses sur la flore des temps préhistoriques des cités lacustres.

En effet, à Wangen et à Moosedorf où sont situées des cités lacustres de l'âge de la pierre polie, on a trouvé des grains de *Triticum vulgare* et *turgidum*, d'*Hordeum distichum*, des pépins de *Pirus malus*, des graines de *Pisum sativum*, de *Trapa natans* et de *Linum angustifolium*.

Dans des cités lacustres de Robenhausen et de Montellier, dont l'âge est placé entre celui de la pierre polie et celui du bronze, on a recueilli des grains d'*Hordeum hexastichon sanctum* et *densum*, de *Triticum vulgare* et *turgidum*, d'*Avena sativa*, des graines de *Faba vulgaris*, de *Pirus malus* et de *Linum angustifolium*.

Enfin, on a extrait de la vase et de la tourbe où se trouvaient ensevelies les cités lacustres de Méringen, de Parma et de l'île Peter qui datent de l'âge de bronze, des grains d'*Hordeum hexastichon densum*, de *Triticum vulgare* et *Spelta*, d'*Avena sativa*, des graines de *Faba vulgaris*, de *Pisum sativum* et d'*Ervum Lens*.

D'après l'accroissement du cône d'alluvions situé au delta de la Tinière, petit cours d'eau qui se jette dans le lac de Genève près de Chillon, Morlot a calculé, par une suite de déductions probables, qu'il y a à peu près 6 400 ans, la Suisse devait être habitée par des hommes qui employaient des ustensiles en pierre polie, tandis que la couche dans laquelle on a trouvé des objets en bronze, remonte probablement à 3 000 ans.

Cette estimation a été jugée par plusieurs savants et notamment par de Quatrefages (1) comme étant très au-dessous de sa réelle valeur ; par conséquent, on peut être certain que les graines qui ont été recueillies dans ces recherches sont authentiquement les plus vieilles que l'on connaisse.

Ces graines naturellement n'ont pas conservé leur pouvoir germinatif.

Nous voici arrivé à des cas qui peuvent paraître plus pro-

(1) Ostwald, Heer, *Die Pflanzen der Pfahlbauten*. — Keller, *Lake Dwellings*, p. 462. — De Quatrefages, *L'espèce humaine*, p. 101, 1877.

lables, parce qu'ils portent sur un temps bien moins considérable.

Ainsi Brutelette d'Abbeville (1), faisant creuser un fossé pour assécher une prairie, a vu croître sur la terre rejetée une grande quantité d'Aunes et pourtant depuis deux siècles, dans la contrée, il n'y avait pas eu d'Aunes.

Moquin-Tandon (2) a rapporté que lorsqu'on a creusé le canal latéral de Toulouse, les terres remuées et restées à sec pendant deux ans, se sont subitement couvertes de *Polygonum monspeliensis*, plante qui manque à Toulouse.

Trochu (3) a remarqué que, douze ans après avoir établi un verger dans une terre que l'on avait autrefois ensemencée en Sarrasin et Millet, plusieurs de ces graines enfouies, ayant été ramenées à la surface, par suite du défoncement du terrain, se mirent à germer et à donner d'abondants pieds.

Le même observateur a encore raconté qu'en creusant des trous pour déraciner des arbres, il a vu lever des Ajoncs et des Bruyères qui certainement provenaient de graines enterrées, il y avait plus de vingt-cinq ans, à une époque où il se rappelle que le champ couvert d'Ajoncs et de Bruyères avait été défriché.

Quarante ans après, ayant eu besoin de faire enlever de nouveaux arbres, sur la terre remuée, il vit réapparaître subitement les mêmes espèces.

A citer encore ici, une observation de Salter (4).

En 1843, on creusa les chenaux de Poole Harbour, la boue draguée fut accumulée sur la berge, sur une superficie de plusieurs centaines de mètres carrés.

Au printemps suivant, une végétation spéciale recouvrit cette boue. Toutes les plantes qui la composaient ne se rencontraient pas dans le voisinage, une espèce même n'existait pas en Angleterre. Sans doute, les plantes provenaient des graines tombées dans le limon de la rivière qui se jetait à cet endroit.

(1) *Bull. de la Soc. bot. de France.*

(2) *Bull. de la Soc. bot. de France*, 1833, p. 167.

(3) Fait cité par Naudin en 1829.

(4) Salter, *On the vitality of seeds after prolonged submersion on the sea* (Journ. Linn. Soc., 1843, p. 140).

Cette observation fut confirmée par une autre de White (1).

Lors des dragages opérés pour nettoyer le lit de l'Avon et le fond des bassins de Bristol, la boue fut jetée dans une carrière abandonnée sur l'espace d'un quart d'hectare à la profondeur de cinq à six mètres.

Au printemps suivant, une flore extrêmement variée se mit à pousser sur cette vase desséchée. On recueillit de nombreuses espèces de plantes croissant sur le bord de l'Avon en amont et en aval de Bristol, mais qui ne se rencontraient pas dans le voisinage. Il y avait aussi des espèces de la vallée de l'Avon, qui étaient très rares ou disparues. D'autres mêmes n'avaient jamais été vues dans cette contrée.

Les graines d'où provenaient ces espèces avaient vécu probablement très longtemps dans l'eau ou dans la vase, ou avaient été apportées par des navires étrangers, des troncs d'arbres et des poissons.

D'ailleurs, les expériences de Darwin (2), de Berkeley, de Martin et surtout de Thuret qui constata que 10 espèces de graines pouvaient conserver pendant treize mois dans de l'eau salée leur pouvoir germinatif, rendent bien vraisemblable cette supposition.

Arthur (3) dit avoir vu germer en 1882 un *Pirus coronaria* provenant vraisemblablement d'une graine restée en vie latente pendant vingt-trois ans. Il en voit la preuve dans ce fait que le *Pirus* sortait entre les pierres de la fondation d'une grange, bâtie en 1859 et qu'on venait de démolir. Comme la graine se trouvait à l'intérieur de la grange, elle avait pu être ainsi protégée contre l'humidité et garder son pouvoir germinatif.

Souvent lorsqu'on remet en eau des étangs desséchés cultivés depuis plusieurs années, on assiste à l'apparition subite, de plusieurs espèces végétales aquatiques qui croissaient dans l'ancien étang; de nombreux observateurs sont persuadés que les graines se sont conservées dans la vase desséchée.

Michalet (4) a constaté que les étangs de la Bresse asséchés

(1) J. White, *Flora of the Avon bed* (Trans. Brist. natur. Soc.).

(2) C. Darwin, *On the Act of sea water on the germination of seeds* (Journ. Linn. Soc., 130, 1857).

(3) *Botan. Gaz.*, 7, 1882, p. 88.

(4) *Bull. de la Soc. de Bot.*, 1860.

périodiquement redonnaient tous les douze ou quinze ans, lorsqu'on les remettait en eau des *Potamogeton*, des *Chara*, des *Scirpus supinus* et des *Najas*.

Il a aussi rencontré dans les anciens étangs de Chaussin et de Chauvigny du Jura, desséchés depuis cinquante ans, le *Scirpus supinus* et le *Chara Braunii*.

Caille (1), jardinier chef du Jardin des plantes de Bordeaux, a trouvé en 1871 sur de la boue ancienne provenant du curage du bassin du jardin, opéré en 1856, le *Thalia dealbata*, Scitaminee qui est ensuite apparue tous les ans jusqu'en 1900. Ces graines sont donc restées enfouies dans cette boue au moins pendant quinze ans.

Le fait suivant a encore frappé de nombreux observateurs, c'est qu'une sorte de nouvelle végétation apparaît dans les forêts après des incendies, et après des coupes.

Sirodot, Henri de Varigny, Poisson, Bureau, Hennecart, Cosson, Fliche ont constaté que très souvent dans les coupes, selon les régions, ils avaient vu apparaître des Digitales, des Lathyrus, des Campanules, des Coquelicots, des Sénéçons silvestres, des Corydales, des Euphorbes, des Ajoncs qui disparaissaient aussitôt que le bois était monté, pour revenir vingt à trente ans plus tard lors d'une nouvelle exploitation.

Decaisne a aussi mentionné qu'aux environs de Bordeaux, après l'incendie d'un bois, le *Papaver somniferum* s'est montré en grande quantité.

La même observation a été faite par Weddell sur des fleurs qui croissent avec une grande rapidité au Brésil, sur le sol incendié des forêts.

Tous ces savants sont d'accord pour attribuer ce fait à l'enfouissement des graines qui attendent sous la mousse ou dans le sol le moment favorable à leur réveil.

Les recherches très intéressantes de Peter, de Göttingen, sur les graines du sol des forêts semblent leur donner raison (2).

En creusant sous la mousse des trous de 8, 16 et 25 centimètres dans les forêts dont l'âge et toutes les conditions

(1) Cité par Poisson, *La longévité des graines* (Bull. de la Soc. de Bot., 1903).

(2) Peter, *Mémoire sur les graines du sol des forêts* (Université de Göttingen, 1893-1894).

antérieures lui étaient à peu près connus, ce savant recueillait des échantillons de terre à divers degrés de profondeur.

Ensuite il cultivait tous ces échantillons de terre avec de grandes précautions, pour qu'il ne puisse pas s'introduire de causes d'erreurs.

Voici les résultats obtenus. La proportion des graines germées diminuait en raison de la profondeur ; à 25 centimètres, les graines trouvées furent très rares. Les forêts très anciennes ne lui donnèrent que des espèces silvicoles ; les forêts récentes où il y avait eu auparavant des prairies et des champs lui fournirent quelques graines de prés et de plaines.

Les espèces qui apparurent en plus grande abondance furent :
1° *Juncus bufonius* et *conglomeratus*, *Sagina procumbens*, *Hypericum perforatum*, *Ranunculus repens*, *Plantago major*, *Gnaphalium uliginosum*.

2° *Chenopodium polyspermum*, *Rubus idæus*, *Potentilla Tormentilla*, *Linaria Elatine*, *Centunculus minimus*.

De ces expériences, Peter conclut que beaucoup de graines séjournèrent dans la terre et pouvaient conserver pendant plus d'un demi-siècle leur vitalité.

Que des graines puissent séjourner dans la terre pendant quelques années, c'est là un fait indéniable, mais cependant il ne faut pas s'exagérer, ni la quantité de graines enfouies, ni la durée de cet enfouissement surtout, *lorsque dans les cas précités on ne connaît pas la date d'arrivée et le mode d'apport*.

Mangin, qui s'est occupé de l'aération du sol, a montré qu'il était relativement riche en acide carbonique et pauvre en oxygène. Cette pauvreté du sous-sol en oxygène, s'il était assez sec, serait certainement une des causes essentielles de la conservation du pouvoir germinatif des graines.

Cependant il faut remarquer que, surtout dans les forêts, le sol de la surface, sous la mousse, dans l'humus est presque toujours très humide. Or, comme avec l'humidité, les bactéries et les moisissures détruisent à la longue toutes les graines, sauf quelques espèces à téguments imperméables, appartenant aux Légumineuses et aux Malvacées, ou à péricarpe sec indéchiscent, nous ne voyons pas du tout comment certaines graines telles que celles des Renoncules, des Sagines, des Gnaphales, des Mille-

pertuis citées par Peter, aient pu se conserver pendant tant d'années sous la terre.

En somme, toutes les observations sur l'enfouissement des graines sont très empiriques. Comme elles n'établissent ni le moment d'arrivée, ni le mode d'apport, elles n'ont aucune valeur scientifique.

Non seulement elles ne tiennent pas compte du transport possible des graines par les eaux, les vents, les oiseaux, les animaux, les fourmis, et les hommes eux-mêmes, venant chercher du bois ou de l'herbe avec leurs voitures ou leurs brouettes, mais encore elles méconnaissent l'importance considérable du changement subit des conditions de milieu, apporté par les fouilles dans la nature du sol ou par les coupes, sur son éclaircissement, son humidité et son échauffement.

Ce changement des conditions de milieu peut provoquer facilement la germination de certaines graines, presque aussitôt dès leur apport, là où elle n'était pas possible auparavant.

Pour les étangs desséchés remis en eau, l'apparition des Jones, des Carex, des Scirpes, des Phragmites, s'explique bien plus aisément par la dissémination des graines que par l'enfouissement.

Les graines arrivent presque toujours apportées par le courant des petits cours d'eau, ou des fossés qui alimentent le nouvel étang, ou encore par les poissons et les oiseaux.

Darwin (1) a démontré que dans l'eau de mer 10 p. 100 des graines des plantes d'une flore, après dessiccation, peuvent flotter pendant plus d'un mois et, emportées par les courants, parcourir plus de 1 400 kilomètres sans perdre leur pouvoir germinatif.

Il en est certainement de même dans les eaux douces.

L'illustre naturaliste a fait encore remarquer que les poissons d'eau douce avalent les graines de beaucoup de plantes aquatiques et terrestres. Or les oiseaux qui dévorent souvent les poissons deviennent ainsi les agents du transport des graines.

« J'ai introduit une grande quantité de graines dans l'estomac de poissons morts, que je faisais ensuite dévorer par des aigles pêcheurs, des cigognes et des pélicans. Après un intervalle de

(1) Darwin, *Origine des espèces*, p. 436, 439, 440, 464. Trad. Barbier. Paris, Reinwald, 1887.

plusieurs heures, ces oiseaux dégorgeaient les graines en pelotes ou les rejetaient dans leurs excréments, et plusieurs germèrent parfaitement. »

Les oiseaux peuvent aussi emporter très loin, après leurs pattes, des petits fragments de terre contenant des graines.

« Un ami m'a envoyé la patte d'une bécasse à laquelle était attachée un fragment de terre sèche qui contenait une graine de *Juncus bufonius* qui germa et fleurit. »

« Je ne crois pas que les botanistes se doutent de la quantité de graines dont la vase des étangs est chargée ; voici un des faits les plus frappants que j'ai observé dans les diverses expériences que j'ai entreprises à ce sujet. Je pris au mois de février sur trois points différents, sous l'eau près du bord d'un petit étang, trois cuillerées de vase qui, desséchée, pesait seulement 193 grammes ; je conservai cette vase pendant six mois dans mon laboratoire, arrachant et notant chaque plante à mesure qu'elle poussait. J'en comptai en tout 537, appartenant à de nombreuses espèces, et cependant la vase humide tenait tout entière dans une tasse à café. Ces faits prouvent, je crois, qu'il faudrait plutôt s'étonner si les oiseaux aquatiques ne transportaient jamais les graines des plantes d'eau douce dans des étangs et dans des ruisseaux situés à de très grandes distances. »

Ces remarques sont encore à rapprocher des lignes suivantes :

« Lorsque je vis la grosseur des graines d'une magnifique plante aquatique, le *Nelumbium* et que je me rappelai les remarques d'Alp. de Candolle sur cette plante, sa distribution me parut un fait inexplicable. Mais Audubon constate qu'il a trouvé dans l'estomac d'un héron des graines du grand nénuphar méridional, le *Nelumbium luteum*. Or, je crois qu'on peut admettre par analogie qu'un héron volant d'étang en étang et faisant en route un copieux repas de poissons, dégorge ensuite une pelote contenant des graines encore en état de germer. »

Tous ces faits si peu étudiés de l'apport des graines par les vents, les courants, les poissons et les oiseaux, et qui jouent un rôle considérable dans la répartition des espèces et leur apparition subite dans des îles et des contrées très éloignées, démontrent combien on doit se défier de l'hypothèse de l'enfouissement des graines à des périodes de temps très reculées.

§ 3. — Graines des anciennes collections et des Herbiers.

Les données très rares qui proviennent de l'examen des graines des anciennes collections, des vieux herbiers sont déjà beaucoup plus précises que celles apportées par l'étude des graines supposées enfouies. Malheureusement la plupart des graines que l'on rencontre dans les herbiers sont empoisonnées par les traitements au bichlorure de mercure alcoolisé et au sulfure de carbone qu'on a fait subir aux plantes pour les conserver.

Cependant tout espoir de faire servir à nos connaissances les graines que nous trouvons dans les herbiers ne doit pas être abandonné car, lorsque la graine est suffisamment mûre et sèche et qu'en même temps elle se trouve munie d'un tégument imperméable, comme dans certaines Légumineuses et Malvacées, l'alcool absolu contenant du bichlorure de mercure en dissolution et les vapeurs de sulfure de carbone, ne peuvent lui porter aucune atteinte.

Or, il se peut que dans les vieux herbiers on découvre des graines n'ayant pas encore perdu la faculté de germer.

Dans le vieil herbier de la Sorbonne qui date de la Révolution, j'ai opéré des recherches sur plusieurs espèces de Légumineuses et de Malvacées, mais je n'ai pu obtenir aucune germination.

Il serait peut-être intéressant d'étudier les graines des plus vieux herbiers de notre pays, notamment de ceux que renferme le Muséum d'histoire naturelle.

Les herbiers de Tournefort (1700), de Jussieu (1750), de Pourret et de Haller (1785), de Candolle (1822), de Desvaux (1831), de Lejeune (1835), de Grenier (1845), n'ont pas encore été visités à ce sujet.

Parmi les cas de longévité provenant de graines recueillies dans les herbiers, on cite le Haricot de l'herbier de Tournefort que Gérardin (1) aurait fait germer au bout de cent ans. Bien des doutes cependant règnent à ce sujet, et je crains que Gérardin ait été victime d'une supercherie, car le Haricot généralement ne conserve pas très longtemps sa faculté germinative.

(1) Gérardin, *Faculté germinative des graines*. Paris, 1809.

Robert Brown aurait semé des graines de la collection de sir Hans Loann âgées de plus de 150 ans. Un *Nelumbium speciosum* aurait levé.

Ce fait serait bien vraisemblable, car Poisson, assistant au Muséum d'histoire naturelle, a fait germer plusieurs graines de *Nelumbium luteum*, âgées de 51 ans, provenant de l'expédition de M. Trécul en Louisiane.

Home rapporte aussi qu'il aurait fait germer des grains de Seigle de 140 ans; il a certainement été dupe d'une erreur. Dans son traité des semis, Duhamel (1) affirme, sans grandes preuves, que la limite de la durée du pouvoir germinatif est pour le Blé de 10 ans, pour le Haricot 33 ans, le Melon 41 ans, l'*Althea rosea* 23 ans, la Rave 17 ans.

Vilmorin (2), dans son recueil des graines potagères, donne une durée relative de la germination pour plus de 300 espèces.

Le Cerfeuil musqué et tubéreux, le Cumin, l'Arachide perdent la faculté de lever au bout d'un an. L'Angélique, le Panais, le Houblon, la Rue, le Salsifis, le Pissenlit au bout de deux ans. Les autres graines ont une durée de 6 à 15 ans.

§ 4. — Expériences sur la longévité des graines.

Les expériences de l'enfouissement artificiel de graines dont on connaît l'âge et la provenance dans un terrain où les conditions chimiques, physiques et climatériques sont nettement déterminées, peuvent seules résoudre la question de la conservation des graines dans le sol.

W.-J. Beal (3) a enfoui dans le sol, en 1879, vingt lots de cinquante graines d'espèces différentes. Ces graines étaient placées avec du sable dans des flacons ouverts, enterrés à 80 centimètres de profondeur, l'ouverture dirigée vers le bas.

Après quinze ans en 1894, les graines furent retirées et semées.

11 fournirent un nombre variable de plantes.

9 espèces ne purent germer.

(1) Duhamel du Monceau, *Traité des semis*, p. 93-95.

(2) H. Vilmorin, *Les graines potagères*.

(3) J. Beal, *Experiment Station record*, t. VI, n° 7.

La *Capsella bursa-pastoris* en donna le plus : 21 germinations pour 30 graines.

Doyère (1), dans son mémoire sur l'ensilage rationnel des grains, a aussi remarqué que les grains enfouis dans les silos — ce que faisaient autrefois les Égyptiens, les Carthaginois et les Romains — se conservaient beaucoup mieux que dans les greniers.

Il prétend que cette conservation est absolue, indéfinie dans sa durée, si le Blé est sec, c'est-à-dire ne contient pas plus que 16 p. 100 d'eau et si surtout il est enfermé dans des silos à enveloppes métalliques, parfaitement inaccessibles à l'air et à l'humidité du sol et de l'atmosphère.

Comme Doyère n'a fait que des expériences de très courte durée, de deux ans tout au plus, il n'a pu vérifier si la conservation des graines est indéfinie : son assertion est fort hasardée.

On peut retenir de ces expériences que le Blé se conserve mieux lorsqu'il est sec et à l'abri de l'air et de la lumière.

D'après un travail de Lamek (2), le taux germinatif des graines de Trèfle conservées dans des bocaux de verre pendant cinq ans, est de 18 p. 100 ; celui du Trèfle blanc, 79 p. 100 ; du Sainfoin, 32 p. 100, et de la Luzerne, 23 p. 100.

Au bout de onze ans, le taux germinatif du Maïs conservé dans les mêmes conditions est de 56 p. 100 ; de l'Avoine, 23 p. 100 ; de l'Orge, 28 p. 100 ; de la Luzerne, 10 p. 100 ; du Blé, du Seigle et du Lin, 0 p. 100.

L'auteur n'a pas indiqué si la fermeture des flacons était hermétique, et si ces derniers avaient été placés à la lumière diffuse ou à l'obscurité.

Les résultats de Burgenstein (3) pour les céréales sont un peu différents par suite du changement de mode de conservation qui était meilleur.

Au bout de dix ans, il constate que c'est l'Orge qui conserve le mieux sa vitalité, puis viennent en décroissant, l'Avoine, le

(1) Doyère, *Conservation des grains par l'ensilage rationnel*. Paris, 1862, p. 42.

(2) Lamek, *Biedern Cent.*, XVIII, p. 283.

(3) Burgenstein, *Beobachtungen über die Keimkraftdauer* (Verhandl. Zool. Bot. Ges. Wien, p. 444, 1895).

Blé, le Seigle. L'Orge germait encore avec un taux de 90 p. 100 ; le Blé et l'Avoine avec un taux de 70 p. 100, mais pour le Seigle ce taux se serait abaissé à 2 p. 100 (1).

Le plus grand et le plus solide travail d'ensemble ayant porté sur des graines d'une origine certaine et conservées dans des conditions bien déterminées a été accompli par Alphonse de Candolle (2).

Ayant lui-même récolté, en 1831, 368 espèces de graines dans le jardin de Florence, il les conserva dans des sachets à l'abri de la lumière, et de l'humidité.

En 1846, c'est-à-dire quatorze ans après, toutes ces espèces furent semées dans des vases renfermant de la terre de bruyère pour éviter les mauvaises herbes.

Sur les 368 espèces, 17 seulement ont conservé leur faculté germinative mais très affaiblie. Trois familles seules ont fourni ces espèces.

Les Malvacées, 5 sur 10 espèces : *Malva caroliniana*, *Malva lactea*, *Lavatera arborea*, *Kitaibelia vitifolia*, *Lavatera cretica*.

Les Légumineuses, 8 sur 45 : *Vicia sordida*, *Dolichos unguiculatus*, *Coronilla varia*, *Trifolium subterraneum*, *Acacia glandulosa*, *Acacia farnesiana*, *Medicago denticulata*, *Trifolium expansum*.

Une espèce de Labiées sur 30 a germé, c'est le *Nepeta botryoides*. Enfin une espèce de Balsaminées et une de Chenopodiacees : l'*Impatiens balsamina* et le *Rumex spinosus*.

Par contre, les Scrofularinées, les Ombellifères, les Caryophyllées, les Graminées, les Crucifères, les Composées, les Amarantacées, les Rosacées, les Renonculacées, les Verbénacées, les Solanées, les Papavéracées ne donnèrent rien.

Selon A. de Candolle, la structure de la graine ne jouerait aucun rôle dans cette conservation. Les petites graines perdraient rapidement leur pouvoir germinatif. Les espèces ligneuses conserveraient plus longtemps que les autres la faculté de germer.

(1) Pour le Seigle, ces résultats sont très significatifs et montrent le peu de créance que l'on doit accorder à l'affirmation de Home.

(2) Alph. de Candolle, *Sur la durée relative de la faculté des germes* (Ann. des Sc. nat., 3^e série, t. VI, p. 573).

§5. — **Expériences sur les plus vieilles graines de la graineterie du Muséum d'histoire naturelle (1).**

J'ai repris le travail d'ensemble d'Alphonse de Candolle. Grâce à l'extrême obligeance de M. Costantin, professeur de culture au Muséum d'histoire naturelle de Paris, et au concours dévoué de M. Caille, chef du service de la graineterie, j'ai pu me procurer toutes les graines les plus vieilles dont la date d'arrivée au laboratoire était rigoureusement contrôlée sur les sachets. Mes recherches ont porté sur près de 500 espèces appartenant à 30 des familles les plus importantes des Monocotylédones et des Dicotylédones, dont l'âge de la récolte variait entre 25 et 135 ans.

Les graines de chaque espèce, généralement au nombre de 10, avaient été soigneusement lavées dans plusieurs eaux pures distillées, puis en partie décortiquées, lorsque le tégument paraissait imperméable.

Ainsi préparées, elles avaient été placées sur du coton hydrophile aseptique humide dans des cristallisoirs recouverts d'une plaque de verre. Des étiquettes collées sur la paroi du cristallisoir, en face de chaque espèce, évitaient ainsi les confusions que l'on aurait pu commettre entre ces diverses graines.

Ces cristallisoirs restèrent pendant plus d'un mois dans une étuve à la température constante de 28°.

Les graines furent retirées à mesure de leur germination.

Voici la nomenclature des graines semées, avec la date de la récolte.

Nous mettons en gros caractères les espèces qui fournirent des germinations.

MONOCOTYLÉDONES

Graminées.			
		5	Arundo donax..... 1863
		6	Dactylagrostis Richardsoni. 1849
1	Agrostis nitens..... 1857	7	Calamagrostis silvatica... 1867
2	Cinna mexicana..... 1868	8	Avena sesquiteria..... 1863
3	Muchlenbergia glomerata.. 1863	9	Avena sempervirens..... 1854
4	Alopecurus glacialis..... 1852	10	Aira montana..... 1878

(1) Paul Becquerel, *Sur la longévité des graines* (C. R. Acad. des Sciences, 25 juin 1906).

41 <i>Holcus tuberosus</i>	1860	33 <i>Juncus pallidus</i>	1863
42 <i>Pappophorum abyssinicum</i>	1858		
43 <i>Glyceria permixta</i>	1864		
44 <i>Briza virens</i>	1855		
45 <i>Festuca memphitica</i>	1845		
46 <i>Festuca rhetica</i>	1845		
47 <i>Bromus dumetorum</i>	1845		
48 <i>Bromus exaltatus</i>	1863		
49 <i>Bromus oxydon</i>	1862		
20 <i>Triticum orientale</i>	1856		
21 <i>Triticum prostratum</i>	1846		
22 <i>Triticum squarrosus</i>	1860		
23 <i>Triticum vulgare</i>	1879		
24 <i>Secale fragile</i>	1827		
25 <i>Hordeum crinitum</i>	1860		
26 <i>Hordeum ithaburense</i>	1888		
27 <i>Hordeum leporinum</i>	1858		
28 <i>Andropogon purpureus</i>	1858		
29 <i>Andropogon sorghum</i>	1858		
30 <i>Paspalum nora</i>	1833		
31 <i>Panicum gongyloides</i>	1839		
Joncées.			
32 <i>Juncus articulatus</i>	1844		

Liliacées.

34 <i>Livistonia sinensis</i>	1861
35 <i>Sabal palmetto</i>	1856
36 <i>Dracena ovata</i>	1876
37 <i>Cordyline cœrulea</i>	1845
38 <i>Asparagus altissimus</i>	1852
39 <i>Asparagus scaber</i>	1864
40 <i>Albuca viridiflora</i>	1843
41 <i>Lachenalia angustiflora</i> ...	1835
42 <i>Scilla anthericoides</i>	1853
43 <i>Urginea undulata</i>	1853
44 <i>Allium rubescens</i>	1828
45 <i>Allium descendens</i>	1848
46 <i>Aloe brevifolia</i>	1842
47 <i>Aloe elongata</i>	1838
48 <i>Aloe subcarinata</i>	1834
49 <i>Artropodium paniculatum</i> ...	1828
50 <i>Anthericum revolutum</i> ...	1836
51 <i>Hemerocallis lancifolia</i> ...	1841
52 <i>Lilium auratum</i>	1875

DICOTYLÉDONES

Urticacées.

53 <i>Urtica angustifolia</i>	1858	74 <i>Rumex reticulatus</i>	1861
54 <i>Urtica canadensis</i>	1866	75 <i>Rumex tingitanus</i>	1823
55 <i>Urtica hispida</i>	1879	76 <i>Rumex verticillatus</i>	1833
56 <i>Bœhmeria cylindrica</i>	1714	77 <i>Rumex confertus</i>	1879
57 <i>Parietaria alsinoides</i>	1851	78 <i>Rumex parviflorus</i>	1856
58 <i>Parietaria cretica</i>	1875	79 <i>Rumex persicarioides</i>	1855
59 <i>Parietaria micrantha</i>	1865	80 <i>Rheum nobile</i>	1877
60 <i>Ficus lutescens</i>	1859	81 <i>Rheum hybridum</i>	1875
61 <i>Ficus rubiginosa</i>	1810		
62 <i>Zanthorhiza apiifolia</i>	1858		
63 <i>Planera aquatica</i>	1806		

Polygonées.

64 <i>Polygonum alpestre</i>	1863	82 <i>Salicornia fruticosa</i> ...	1827
65 <i>Polygonum alpinum</i>	1888	83 <i>Salicornia herbacea</i>	1877
66 <i>Polygonum cymosum</i>	1861	84 <i>Agriophyllum pungens</i> ...	1838
67 <i>Polygonum scandens</i>	1860	85 <i>Ceratocarpus arenarius</i> ...	1836
68 <i>Polygonum undulatum</i> ...	1830	86 <i>Spinacia tetrandra</i>	1857
69 <i>Atraphaxis undulata</i>	1856	87 <i>Obione muricata</i>	1850
70 <i>Rumex ægyptiacus</i>	1892	88 <i>Atriplex lenticularis</i>	1840
71 <i>Rumex alsinifolius</i>	1888	89 <i>Atriplex microsperma</i> ...	1851
72 <i>Rumex scutatus</i>	1834	90 <i>Atriplex sibirica</i>	1842
73 <i>Rumex Steudelii</i>	1863	91 <i>Calligonum comosum</i>	1831
		92 <i>Boerhavia hirsuta</i>	1840
		93 <i>Rivina octandra</i>	1831
		94 <i>Phytolacca stricta</i>	1841
		95 <i>Rosea yervanosa</i>	1820
		96 <i>Chenopodium acuminatum</i> ...	1838

97	<i>Chenopodium polyanthum</i>	1854	133	<i>Anemone opulifolia</i>	1873
98	<i>Chenopodium purpure-</i> <i>cens</i>	1864	134	<i>Adonis autumnalis</i>	1828
99	<i>Chenopodium serotinum</i> ..	1888	135	<i>Anemone canadensis</i>	1833
100	<i>Cyclolepis radiata</i>	1853	136	<i>Anemone lepida</i>	1866
101	<i>Beta nana</i>	1879	137	<i>Anemone pratensis</i>	1845
102	<i>Beta vulgaris macrocarpa</i> ..	1850	138	<i>Ranunculus affinis</i>	1882
103	<i>Blitum virgatum</i>	1847	139	<i>Ranunculus cassubicus</i> ..	1833
Amarantacées.			140	<i>Ranunculus incrassatus</i> ..	1864
104	<i>Euxolus prostratus</i>	1854	141	<i>Ranunculus pensylvanicus</i>	1830
105	<i>Amarantus gracilis</i>	1836	142	<i>Caltha ficarioides</i>	1843
106	<i>Amarantus recurvatus</i>	1860	143	<i>Trollius patens</i>	1841
107	<i>Gomphrena villosa</i>	1835	144	<i>Aquilegia jucunda</i>	1876
108	<i>Achyranthes axillaris</i>	1833	145	<i>Aquilegia viscosa</i>	1885
109	<i>Achyranthes virgata</i>	1829	146	<i>Delphinium anthoroideum</i> ..	1877
Polygonées.			147	<i>Helleborus dumetorum</i>	1858
110	<i>Salsola pygmæa</i>	1840	148	<i>Pœonia hybrida</i>	1844
111	<i>Salsola vermiculata</i>	1829	149	<i>Pœonia Broteri</i>	1879
112	<i>Polygonum brachyanthum</i> ..	1829	150	<i>Pœonia fimbriata</i>	1844
113	<i>Polygonum crassifolium</i> ...	1829	151	<i>Aconitum altissimum</i>	1834
Lythariées.			152	<i>Aconitum nitidum</i>	1851
114	<i>Punica granatum</i>	1822	153	<i>Aconitum septentrionale</i> ..	1843
Nymphéacées.			Malvacées.		
115	<i>Nymphaea scutifolia</i>	1863	154	<i>Lavatera lusitanica</i>	1790
116	<i>Nuphar spennerianum</i>	1852	155	<i>Lavatera pseudoolkia</i> 2 sur 10).....	1428
117	<i>Nelumbium codophyllum</i> (4 sur 5).....	1850	156	<i>Lavatera ambigua</i>	1845
118	<i>Nelumbium asperifolium</i> (4 sur 5).....	1858	157	<i>Althæa leucantha</i>	1843
119	<i>Nelumbium speciosum</i> (9 sur 10).....	1888	158	<i>Malva asperrima</i>	1850
Papaveracées.			159	<i>Malva cymbalaria</i>	1846
120	<i>Dielytra cucullaria</i>	1842	160	<i>Malva microcarpa</i>	1840
121	<i>Stylophorum ôhiense</i>	1875	161	<i>Malva fastigiata</i>	1833
Berberidées.			162	<i>Malva sherardiana</i>	1833
122	<i>Berberis ochnacantha</i>	1859	163	<i>Pavonia colombella</i>	1837
123	<i>Berberis altaica</i>	1837	164	<i>Pavonia urens</i>	1790
124	<i>Berberis brachyotrys</i>	1882	165	<i>Hibiscus sphaerocarpus</i> ...	1851
125	<i>Berberis impetrifolia</i>	1871	166	<i>Hibiscus ricinoides</i>	1886
Renonculacées.			167	<i>Hibiscus umbellatus</i>	1770
126	<i>Thalictrum anemioides</i>	1832	168	<i>Adansonia digitata</i>	1888
127	<i>Thalictrum concinnum</i>	1879	Caryophyllées.		
128	<i>Thalictrum fontanesianum</i> ..	1845	169	<i>Silene bicolor</i>	1855
129	<i>Clematis calycina</i>	1859	170	<i>Gypsophila glomerata</i>	1837
130	<i>Clematis crispa</i>	1857	171	<i>Gypsophila prostata</i>	1779
131	<i>Clematis laxantha</i>	1842	172	<i>Cucubalus stellatus</i>	1842
132	<i>Thalictrum saxatile</i>	1831	173	<i>Cerastium nemorale</i>	1844
			174	<i>Cerastium Scarani</i>	1840
			175	<i>Cerastium semidecandrum</i> ..	1830
			176	<i>Stellaria uliginosa</i>	1829
			177	<i>Arenaria cephalotes</i>	1849
			178	<i>Calandrinia glauca</i>	1845
			179	<i>Anacampteros telephias-</i> <i>trum</i>	1833
			180	<i>Minuartia dichotoma</i>	1836

Mesembrianthémées.

181 <i>Mesembrianthemum ex-</i> <i>pansum</i>	1819
182 <i>M. pugioniforme</i>	1836
183 <i>M. geniculiflorum</i>	1816
184 <i>M. spinosum</i>	1820
185 <i>M. loreum</i>	1811
186 <i>M. micans</i>	1781
187 <i>Sesuvium portulacastrum</i>	1830
188 <i>Galenia africana</i>	1834

Saxifragées.

189 <i>Saxifraga hastifolia</i>	1858
190 <i>Saxifraga luteopurpurea</i> ...	1845

Datiscéées.

191 <i>Datisca femina</i>	1838
---------------------------------	------

Aristolochiées.

192 <i>Aristolochia trifida</i>	1816
---------------------------------------	------

Araliacées.

193 <i>Aralia japonica</i>	1842
----------------------------------	------

Onagrariées.

194 <i>Oenothera undulata</i>	1774
195 <i>Oenothera pinnatifida</i>	1850
196 <i>Oenothera gracilis</i>	1855
197 <i>Sphaerostigma dentata</i>	1840
198 <i>Jussiaea erecta</i>	1839

Euphorbiacées.

199 <i>Euphorbia amygdaloides</i> ...	1809
200 <i>Euphorbia mauritiani</i>	1811
201 <i>Euphorbia coralloides</i>	1880
202 <i>Euphorbia mellifera</i>	1858
203 <i>Euphorbia aulacosperma</i> ...	1893
204 <i>Euphorbia lathyris</i>	1903
205 <i>Ricinus leucocarpus</i>	1849
206 <i>Ricinus communis</i>	1890

Crucifères.

207 <i>Arabis cheiranthoides</i>	1843
208 <i>Cardamine dasyloba</i>	1844
209 <i>Cardamine flaccida</i>	1841
210 <i>Cardamine nasturtiana</i>	1830
211 <i>Thlaspi alliaceum</i>	1858

212 <i>Thlaspi platycarpm</i>	1841
213 <i>Biscutella saxatilis</i>	1851
214 <i>Clypeola maritima</i>	1841
215 <i>Draba caroliniana</i>	1854
216 <i>Sisymbrium nitidum</i>	1845
217 <i>Sisymbrium fugax</i>	1842
218 <i>Conringia planisiliqua</i>	1845
219 <i>Erysimum alpinum</i>	1836
220 <i>Hesperis bicuspidata</i>	1851
221 <i>Hesperis pygmaea</i>	1850
222 <i>Tauxeria lanocarpa</i>	1846
223 <i>Tauxeria gymnocarpa</i>	1845
224 <i>Isatis canescens</i>	1838
225 <i>Isatis costata</i>	1841
226 <i>Isatis microcarpa</i>	1831
227 <i>Sinapis radicata</i>	1864
228 <i>Diploaxis pendula</i>	1853
229 <i>Diploaxis tenuisiliqua</i>	1812
230 <i>Eruca hispida</i>	1863
231 <i>Eruca sativa</i>	1876
232 <i>Capsella procumbens</i>	1852
233 <i>Capsella rubella</i>	1879
234 <i>Camelina ambigua</i>	1839
235 <i>Lepidium lyratum</i>	1831
236 <i>Lepidium micranthum</i>	1857
237 <i>Lepidium alynoides</i>	1880
238 <i>Odocarpus virgatus</i>	1847
239 <i>Isatis subulosa</i>	1832
240 <i>Platystigma lineare</i>	1846
241 <i>Crambe aspera</i>	1847
242 <i>Crambe fruticosa</i>	1866
243 <i>Crambe orientalis</i>	1858
244 <i>Raphanus sativus</i>	1874
245 <i>Raphanus rotundus</i>	1874
246 <i>Heliophila integrifolia</i>	1855
247 <i>Heliophila liniflora</i>	1858
248 <i>Brassica repanda</i>	1860
249 <i>Brassica sylvestris</i>	1876
250 <i>Sinapis alba</i>	1881
251 <i>Sinapis amplexicaulis</i>	1880
252 <i>Sinapis assurgens</i>	1850
253 <i>Sinapis integrifolia</i>	1872

Papavéracées.

254 <i>Papaver arenarium</i>	1888
255 <i>Papaver collinum</i>	1891
256 <i>Papaver commutatum</i>	1894
257 <i>Chelidonium dahuricum</i> ...	1850
258 <i>Glaucium fulvum</i>	1853
259 <i>Glaucium rubrum</i>	1845
260 <i>Glaucium squamigerum</i> ...	1845

Fumariacées.

261 <i>Fumaria confusa</i>	1894
----------------------------------	------

262	<i>Fumaria litoralis</i>	1877	310	<i>Astragalus brachyceras</i> (2 sur 10).....	1868
263	<i>Fumaria muralis</i>	1880	311	<i>Astragalus austriacus</i>	1844
264	<i>Corydalis aurea</i>	1873	312	<i>Astragalus arenarius</i>	1836
265	<i>Corydalis rigidula</i>	1840	313	<i>Vicia varia</i>	1886
Rosacées.			314	<i>Vicia argentea</i>	1834
			315	<i>Faba major</i>	1842
266	<i>Rosa beggeriana</i>	1866	316	<i>Lathyrus giganteus</i>	1877
267	<i>Rosa cinnamomea</i>	1822	317	<i>Dioclea pauciflora</i> (1 sur 10).	1841
268	<i>Rosa eglanteria</i>	1790	318	<i>Erythraea herbacea</i>	1827
269	<i>Rosa fragrans</i>	1833	319	<i>Wistaria speciosa</i>	1805
270	<i>Rosa villosa</i>	1822	320	<i>Hedysarum fruticosum</i>	1826
271	<i>Hulthemia berberifolia</i>	1843	321	<i>Hedysarum polymorphum</i> .	1836
272	<i>Rubus lasiocarpus</i>	1838	322	<i>Onobrychis Michauxi</i>	1834
273	<i>Rubus parviflorus</i>	1854	323	<i>Taverniera Schimper</i>	1855
274	<i>Potentilla ruthenica</i>	1843	324	<i>Lespedeza juncea</i>	1831
275	<i>Potentilla crocea</i>	1857	325	<i>Clitoria parviflora</i>	1833
276	<i>Potentilla paradoxa</i>	1870	326	<i>Hippocrepis biflora</i>	1834
277	<i>Potentilla garipensis</i>	1848	327	<i>Æschynomene americana</i> ..	1887
278	<i>Acœna adscendens</i>	1851	328	<i>Desmodium aparine</i>	1853
279	<i>Sanguisorba bracteosa</i>	1847	329	<i>Orobis hirsutus</i>	1834
280	<i>Poterium ancistroides</i>	1846	330	<i>Orobis laxiflorus</i>	1836
281	<i>Poterium hybridum</i>	1833	331	<i>Orobis tenuifolius</i>	1842
282	<i>Geum laciniatum</i>	1844	332	<i>Cæsalpinia tinctoria</i>	1853
283	<i>Geum reptans</i>	1822	333	<i>Cassia bicapsularis</i> (3 sur 10).....	1819
283	<i>Aremonia agrimonoides</i> ..	1772	334	<i>Phaseolus principius</i>	1834
284	<i>Prunus spinosa</i>	1873	335	<i>Phaseolus caracalla</i>	1883
285	<i>Prunus sphærocarpa</i>	1868	336	<i>Dolichos brasiliensis</i>	1834
286	<i>Cerasus vulgaris</i>	1840	337	<i>Dolichos fusarius</i> (2 sur 10).	1868
287	<i>Spiræa acutifolia</i>	1844	338	<i>Dolichos niloticus</i>	1834
288	<i>Spiræa opulifolia</i>	1819	339	<i>Rhynconia caribœa</i>	1829
289	<i>Notoceras hispanicum</i>	1844	340	<i>Trigonella laciniata</i>	1849
290	<i>Malus hybrida</i>	1838	341	<i>Trigonella striata</i>	1838
291	<i>Pirus baccata</i>	1866	342	<i>Trifolium bracteatum</i>	1820
292	<i>Pirus grandifolia</i>	1868	343	<i>Trifolium cespitosum</i> (2 sur 10).....	1878
293	<i>Pirus spuria</i>	1866	344	<i>Trifolium physodes</i>	1843
294	<i>Psammisia planchoniana</i> ..	1860	345	<i>Trifolium arvense</i> (2 sur 10).	1838
295	<i>Psirmium montanum</i>	1820	346	<i>Lotus altissimus</i>	1853
296	<i>Cratægus æstivalis</i>	1869	347	<i>Psoralea lathyrifolia</i>	1844
297	<i>Amelanchier spicata</i>	1819	348	<i>Indigofera enneaphylla</i>	1846
298	<i>Amelanchier japonica</i>	1884	349	<i>Indigofera Schimper</i>	1838
299	<i>Cornus trilobata</i>	1873	350	<i>Galega rosea</i>	1823
300	<i>Cratægus leucophlæon</i>	1878	351	<i>Caragana frutescens</i>	1849
Papilionacées.			352	<i>Colutea halepica</i>	1835
301	<i>Astragalus reptans</i>	1833	353	<i>Gleditschia monosperma</i> ..	1787
302	<i>Pisum smyrnense</i>	1851	354	<i>Gleditschia horrida</i>	1885
303	<i>Pisum sativum</i>	1893	355	<i>Gleditschia lævis</i>	1827
304	<i>Ervum Lens</i> (1 sur 10)....	1841	356	<i>Cassia humilis</i>	1863
305	<i>Astragalus fruticosus</i>	1848	357	<i>Cassia grandiflora</i>	1875
306	<i>Astragalus massiliensis</i> ..	1848	358	<i>Mimosa glomerata</i> (5 sur 10).	1853
307	<i>Astragalus micranthus</i>	1854	359	<i>Mimosa prostrata</i>	1845
308	<i>Astragalus odoratus</i>	1223	360	<i>Leucæna leucocephala</i> (2 sur 10).....	1835
309	<i>Astragalus prostratus</i>	1859			

361	Acacia cornigera (5 sur 10).....	1863	405	<i>Saracha procumbens</i>	1829
362	<i>Acacia decipiens</i>	1863	406	<i>Nicotiana acutiflora</i>	1879
363	Acacia distachya (5 sur 10).....	1853	407	<i>Nicotiana californica</i>	1857
364	<i>Acacia bonariensis</i>	1860	408	<i>Nicotiana chinensis</i>	1848
365	<i>Acacia nilotica</i>	1816	409	<i>Nicotiana hybrida</i>	1835
366	<i>Acacia falcata</i>	1816	410	<i>Nicotiana lancifolia</i>	1881
367	Crotalaria ramosissima (1 sur 10).....	1867	411	<i>Nicotiana mexicana</i>	1852
368	<i>Lupinus macrocarpus</i>	1832	412	<i>Nicotiana petiolaris</i>	1864
369	<i>Lupinus macrocarpus</i>	1867	413	<i>Nicotiana suaveolens</i>	1837
370	<i>Lupinus ornatus</i>	1849	414	<i>Scopolia physaloides</i>	1838
371	<i>Lupinus sericeus</i>	1869	415	<i>Datura hybrida</i>	1840
372	<i>Lupinus tristis</i>	1861			
373	<i>Callistachys australis</i>	1856		Borraginées.	
374	Cytisus austriacus (1 sur 10).....	1843	416	<i>Myosotis californica</i>	1844
375	<i>Cytisus biflorus</i> (2 sur 10).....	1822	417	<i>Echinosperrum cristatum</i>	1845
376	<i>Medicago secundiflora</i>	1880	418	<i>Cynoglossum hirsutum</i>	1837
377	<i>Medicago cancellata</i>	1875	419	<i>Symphitum caucasicum</i>	1833
378	<i>Medicago globulosa</i>	1854	420	<i>Anchusa asperima</i>	1835
379	<i>Adenantha altera</i>	1824	421	<i>Onorma taurica</i>	1829
380	<i>Genista nilotica</i>	1886	422	<i>Lithosperrum interrup-</i> <i>tum</i>	1829
381	<i>Ulex lusitanicus</i>	1881			
382	<i>Sarothamnus eriocarpus</i>	1881		Convolvulacées.	
383	Melilotus luteus (3 sur 10).....	1851	423	<i>Convolvulus bonariensis</i>	1836
384	<i>Ononis villosa</i>	1861	424	<i>Convolvulus chilensis</i>	1852
385	Nomismia nummularis (2 sur 10).....	1869	425	<i>Convolvulus evolvuloides</i>	1854
			426	<i>Convolvulus lineatus</i>	1848
	Plombaginées.				
386	<i>Plumbago lapathifolia</i>	1841		Scrofularinées.	
387	<i>Statice besseriana</i>	1847	427	<i>Verbascum undulatum</i>	1828
388	<i>Statice Gougetiana</i>	1876	428	<i>Angelonica palicarioides</i>	1842
389	<i>Statice monopetala</i>	1831	429	<i>Linaria altaica</i>	1830
390	<i>Statice mucronata</i>	1851	430	<i>Linaria canadensis</i>	1846
391	<i>Dentaria pinnata</i>	1878	431	<i>Linaria latifolia</i>	1854
	Ericinées.		432	<i>Verbascum Hohenakeri</i>	1845
392	<i>Erica calycina</i>	1868	433	<i>Verbascum Lagurus</i>	1847
393	<i>Erica cinerea</i>	1866	434	<i>Verbascum ovatum</i>	1842
	Solanées.		435	<i>Scrofularia glabrata</i>	1843
394	<i>Vestia lycioides</i>	1860	436	<i>Scrofularia laevigata</i>	1851
395	<i>Cestrum diurnum</i>	1834	437	<i>Antirrhinum molle</i>	1841
396	<i>Mandragora præcox</i>	1832	438	<i>Mimulus propinquus</i>	1859
397	<i>Lycopersicum texanum</i>	1867	439	<i>Mimulus roseus</i>	1839
398	<i>Brugmansia candida</i>	1851	440	<i>Capraria biflora</i>	1834
399	<i>Solanum decurrens</i>	1850	441	<i>Digitalis canariensis</i>	1888
400	<i>Solanum fasciculatum</i>	1874	442	<i>Digitalis fulva</i>	1866
401	<i>Solanum quercifolium</i>	1850	443	<i>Digitalis laevigata</i>	1878
402	<i>Solanum subfruticosum</i>	1829	444	<i>Digitalis nervosa</i>	1849
403	<i>Solanum vespertilum</i>	1855	445	<i>Digitalis orientalis</i>	1859
404	<i>Physalis flexuosa</i>	1832	446	<i>Chelone Lyonii</i>	1831
			447	<i>Lyperia octandra</i>	1855
			448	<i>Veronica digitata</i>	1843
			449	<i>Veronica melissæfolia</i>	1844

Verbénacées.		477	<i>Betonica stricta</i>	1831	
		478	<i>Galeopsis pubescens</i>	1847	
450	<i>Verbena dentata</i>	1833	479	<i>Nepeta azurea</i>	1844
451	<i>Verbena lanostachys</i>	1834	480	<i>Cataria atriodera</i>	1829
452	<i>Lippia purpurea</i>	1854	481	<i>Salvia grata</i>	1844
453	<i>Lantana lilacina</i>	1832	482	<i>Salvia lanigera</i>	1839
454	<i>Lantana melissæfolia</i>	1853	483	<i>Salvia minutiflora</i>	1833
455	<i>Callicarpa tomentosa</i>	1832	Malvacées.		
456	<i>Clerodendrum squamatum</i> .	1840			
457	<i>Vitex trifolia</i>	1860	484	<i>Lagunia solandra</i>	1776
Scrofularinées.		Cucurbitacées.			
458	<i>Buddleia comata</i>	1844	485	<i>Cucurbita asteroides</i>	1831
Plantaginées.		486	<i>Luffa amara</i>	1865	
459	<i>Plantago argentea</i>	1859	487	<i>Cucumis Figarei</i>	1872,
460	<i>Plantago brutia</i>	1834	Caprifoliacées.		
461	<i>Plantago canescens</i>	1834	488	<i>Viburnum multratum</i>	1815
462	<i>Plantago divaricata</i>	1845	489	<i>Sambucus nigra</i>	1858
463	<i>Plantago lanata</i>	1835	Rubiacées.		
464	<i>Plantago sparsiflora</i>	1839	490	<i>Galium trifidum</i>	1844
465	<i>Plantago chilensis</i>	1862	491	<i>Rubia cordifolia</i>	1829
466	<i>Plantago basilicum</i>	1842	492	<i>Galium gracile</i>	1853
Labiées.		493	<i>Galium lœve</i>	1834	
467	<i>Zisiphora hispanica</i>	1840	494	<i>Galium persicum</i>	1818
468	<i>Ocimum dillonii</i>	1842	495	<i>Asperula cristata</i>	1848
469	<i>Ajuga Chia</i>	1845	496	<i>Asperula longifolia</i>	1851
470	<i>Teucrium abutiloides</i>	1835	497	<i>Asperula longiflora</i>	1846
471	<i>Teucrium orchideum</i> ..	1842	498	<i>Crucianella ciliata</i>	1822
472	<i>Ballota rugosa</i>	1837			
473	<i>Marrubium cœruleum</i>	1837	Hydrophyllacées.		
474	<i>Sideritis canariensis</i>	1840	499	<i>Phacelia chilensis</i>	1853
475	<i>Stachys albicaulis</i>	1835	500	<i>Phacelia fimbriata</i>	1850
476	<i>Stachys nepetæfolia</i> (1				
	sur 10).....	1829			

Conclusions. — Par l'examen de cette longue liste, on peut voir que quatre familles seulement donnèrent des germinations :

Les *Légumineuses*, les *Nélombiées*, les *Malvacées*, les *Labiées*.

Les *Légumineuses* fournirent 18 espèces sur 90.

Ce furent :

<i>Cassia bicapsularis</i>	1819	(3 sur 10)	âgées de 87 ans.
<i>Cytisus biflorus</i>	1822	(2 — 10)	— 84 —
<i>Leucana leucocephala</i>	1835	(2 — 10)	— 71 —
<i>Trifolium arvense</i>	1838	(2 — 10)	— 68 —
<i>Ervum Lens</i>	1841	(1 — 10)	— 65 —
<i>Dioclea pauciflora</i>	1841	(1 — 10)	— 65 —

<i>Cytisus austriacus</i>	1843	(1 — 10)	âgées de 63 ans.
<i>Melilotus luteus</i>	1851	(3 — 10)	— 55 —
<i>Acacia distachya</i>	1853	(5 — 10)	— 53 —
<i>Mimosa glomerata</i>	1853	(5 — 10)	— 53 —
<i>Crotalaria ramosissima</i>	1867	(1 — 10)	— 39 —
<i>Dolichos fusarius</i>	1868	(2 — 10)	— 38 —
<i>Astragalus brachyceras</i>	1868	(2 — 10)	— 38 —
<i>Nomismia nummularis</i>	1869	(2 — 10)	— 37 —
<i>Acacia cornigera</i>	1869	(5 — 10)	— 37 —
<i>Trifolium cespitosum</i>	1878	(2 — 10)	— 28 —

Dans la famille des Nélombiées, nous avons obtenu la germination de 3 espèces.

<i>Nelumbium codophyllum</i> ..	1850	(4 sur 5)	âgées de 56 ans.
— <i>asperifolium</i> ...	1858	(4 — 5)	— 48 —
— <i>speciosum</i>	1888	(9 — 10)	— 48 —

Enfin, nous avons eu une Malvacée sur 15 espèces.

<i>Lavatera pseudoolbia</i>	1842	(2 sur 10)	âgées de 64 ans.
-----------------------------------	------	------------	------------------

Et une Labiée sur 14 espèces.

<i>Stachys nepetaefolia</i>	1829	(1 sur 10)	âgées de 77 ans.
-----------------------------------	------	------------	------------------

Par contre, les graines appartenant aux familles suivantes : Graminées, Juncées, Liliacées, Urticacées, Polygonées, Chenopodiées, Datiscées, Renonculacées, Nymphéacées, Euphorbiacées, Crucifères, Papavéracées, Caryophyllées, Rosacées, Saxifragées, Onagrariées, Araliacées, Plombaginées, Solanées, Borraginées, Convolvulacées, Scrofularinées, Verbénacées, Plantaginées, Cucurbitacées, Caprifoliacées et Hydrophyllacées ne présentèrent aucune germination.

Parmi les graines qui ne levèrent pas, il est intéressant de signaler les plus âgées, car ce sont de véritables graines historiques.

Ainsi :

<i>Boehmeria cylindrica</i>	1714	192 ans	(Règne de Louis XIV).
<i>Aremonia agrimonioides</i>	1772	134 —	(Règne de Louis XV).
<i>Hibiscus umbellatus</i>	1770	136 —	Id.
<i>Oenothera undulata</i>	1774	132 —	} Règne de Louis XVI.
<i>Gypsophila prostrata</i>	1779	127 —	
<i>Mesembrianthemum micans</i> .	1781	125 —	
<i>Gleditschia monosperma</i>	1787	119 —	} Révolution française.
<i>Lavatera lusitanica</i>	1790	116 —	
<i>Pavonia urens</i>	1790	116 —	
<i>Rosa eglanteria</i>	1790	116 —	} Premier Empire.
<i>Wistaria speciosa</i>	1803	101 —	

Enfin, il me faut signaler que toutes les graines âgées de 16 à 60 ans, appartenant à diverses espèces de Potentille, de Ronce, de Gaillet, d'Euphorbe, de Moutarde, de Chénopode, de Pavot, de Corydale, de Digitale, de Molène, de Tabac et de Junc ne germèrent pas.

Ces faits rendent par conséquent bien improbable l'opinion des nombreux naturalistes déjà cités, qui pensent que ces graines peuvent se conserver dans le sol pendant de très nombreuses années, et même plusieurs siècles.

Des Fèves de 64 ans et des Haricots de 52 ans avaient perdu aussi leur faculté de lever, ce qui me porte à croire que l'on peut douter du cas du fameux Haricot de l'herbier de Tournefort, qui aurait vécu 100 ans.

De tout l'ensemble de ces recherches, j'ai essayé de dégager quelles pouvaient être les véritables causes de la longévité si grande de certaines graines.

J'ai alors remarqué, que malgré l'assertion contraire d'Alphonse de Candolle, c'était encore le tégument de la graine, beaucoup plus que la nature de ses réserves, qui jouait dans la conservation de son pouvoir germinatif, le plus grand rôle.

En effet, toutes les graines qui, après plus de 50 à 80 ans de vie latente, ont germé, étaient revêtues d'un tégument très épais et imperméable dans toutes ses parties.

J'ai eu la preuve directe de ce fait pour le *Cassia bicapsularis* de 1819, pour le *Leucana leucocephala* de 1835, pour le *Nelumbium codophyllum* de 1850.

Leur tégument, adapté aux appareils que j'ai déjà décrits, s'est montré d'une imperméabilité absolue pendant les six mois qu'ont duré les expériences.

Toutes les autres graines sont certainement aussi imperméables, car, trempées dans l'eau, elles ne se gonflent pas, si leur tégument n'est pas perforé.

Gola (1), dans ses recherches sur les téguments imperméables, confirme ces faits, car il a démontré que la plupart des graines d'Acacie, de Cytise, d'Astragale, de Trèfle, de Mélilot, de Mimense, plongées dans l'eau, à la température de 20° pendant

(1) Joseph Gola, *Recherches sur les téguments des graines* (Acad. des Sc. de Turin, 1905).

trois mois, ne s'imbibent pas ; 5 à 10 p. 100 tout au plus ont pu se gonfler.

Cette imperméabilité absolue de toutes les parties du tégument aux gaz de l'atmosphère comme à l'eau, que je suis le premier à avoir découverte, nous apporte sur la biologie des graines un résultat très important.

C'est la première fois que l'on constate que *des graines ont pu vivre en vie latente pendant plus de 80 ans*, c'est-à-dire depuis l'époque de la Restauration jusqu'à nos jours, *sans que leur embryon ait eu des échanges gazeux avec l'atmosphère*.

Si jamais l'embryon enfermé dans son tégument hermétiquement clos a respiré, il ne l'a fait que d'une manière imperceptible aux dépens d'une quantité de gaz très petite, puisque, au bout de ce grand intervalle de temps, il n'a pu encore utiliser tout ce qu'il devait y avoir d'oxygène disponible dans l'intérieur de ses cellules.

CHAPITRE V

ÉCHANGES GAZEUX DES GRAINES PENDANT LEUR VIE LATENTE

Par le court historique que j'ai présenté au commencement de ce travail, on a déjà pu se rendre compte que la respiration est un des points les plus importants et les plus contestés de la vie latente des graines.

Pour éclaircir cette question, voici la marche que j'ai suivie. J'ai d'abord étudié l'action de l'air, ensuite l'influence des gaz irrespirables, puis celles des milieux tels que le mercure et le vide où la respiration paraît parfaitement impossible.

§ 1. — Action de l'air.

L'action de l'air a été étudiée en 1880, par Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier. Ils ont opéré sur des graines de Pois, de Blé, de Haricot, de Vesce, de Ricin et de Lin (1).

(1) *Recherches sur la vie latente des graines* (Bull. de la Soc. bot. de France, p. 24, séance du 13 janv. 1882).

De chaque espèce ils ont composé trois lots, comprenant chacun le même nombre de graines.

Le premier lot a été laissé à l'air libre; les graines étaient placées dans une boîte de carton dont le couvercle trop grand laissait l'air se renouveler à l'intérieur de la boîte placée à l'abri des poussières.

Le deuxième lot a été mis dans l'air clos; les graines ont été placées dans un tube plein d'air soigneusement bouché, puis l'extrémité bouchée du tube a été immergée profondément dans de la paraffine fondue.

Enfin, la troisième portion a été placée dans l'acide carbonique pur; les graines étaient mises dans une éprouvette pleine de mercure, à l'intérieur de laquelle on faisait parvenir de l'acide carbonique, puis l'éprouvette était bouchée comme les tubes précédents. Pour chaque portion, le nombre des graines avait été compté et elles avaient été pesées à moins d'un demi-milligramme près.

Le tout a été abandonné dans les mêmes conditions de température pendant deux ans. Après ce laps de temps, les tubes ont été débouchés sur la cuve à mercure, l'analyse des gaz contenus à leur intérieur a été effectuée, et les graines pesées et mises en germination.

Les 50 graines de Pois laissées à l'air libre ont augmenté d'environ $\frac{1}{72}$ de leur poids initial, 90 sur 100 ont germé.

A l'air clos, elles ont augmenté de $\frac{1}{790}$ de leur poids initial; 45 p. 100 ont levé. Enfin, elles ont absorbé 6,56 p. 100 d'oxygène, et dégagé 3,82 p. 100 d'acide carbonique.

Les mêmes graines laissées dans l'acide carbonique n'ont pas varié de poids, toutes ont perdu leur puissance germinative.

Les graines de Haricot ont augmenté à l'air libre de $\frac{1}{56}$ de leur poids initial; 98 p. 100 ont germé.

Dans l'air clos, elles ont augmenté de $\frac{1}{1190}$; 2 p. 100 ont levé. Dans l'acide carbonique, toutes sont mortes.

Les graines de Ricin, de Vesce, de Blé, de Lin, conservées à l'air libre et à l'air clos, pesées et mises à germer comparativement dans les mêmes conditions, ont donné des résultats analogues.

Pour le Ricin, 50 p. 100 conservées à l'air libre ont germé et 10 p. 100 seulement des graines conservées dans l'air clos.

Pour le Blé, la différence est bien moins marquée, 42 p. 100 pour l'air libre et 38 p. 100 pour l'air clos.

Enfin pour le Lin, on ne constate pas de différence dans le développement des graines qui germent. Cependant, il y a une légère nuance, 98 p. 100 ont germé pour l'air libre et pour l'air clos 92 sur 100. Mais il faut remarquer que les tubes contenant les graines de Lin avaient un volume d'air considérable par rapport au volume des graines.

Quant aux échanges gazeux dans l'air confiné, les grains de Blé avaient absorbé 0,88 p. 100 d'oxygène et dégagé 1,88 p. 100 de CO².

Pour le Ricin, on constatait une émission à peine plus grande d'acide carbonique et une absorption d'oxygène relativement plus considérable, ce qui s'explique par l'oxydation d'huile contenue dans les graines.

Pour le Lin, il n'y a eu presque aucun changement constatable, mais il faut remarquer que l'air du tube qui renfermait les graines occupait un volume considérable par rapport à celui des graines.

« La respiration se poursuit donc dans la vie latente et lorsqu'elle n'est plus possible, l'organisme périt. La vie de l'embryon n'est pas alors suspendue, elle sommeille seulement dans la graine, c'est une vie ralentie. »

Or, ces résultats sont contestés par Detmer (1) et Pfeffer (2), qui affirment, dans leur *Traité de physiologie*, que la respiration des graines n'existe pas; par Ewart, qui, après quinze jours d'expérience sur des Pois, n'a pu déceler la moindre trace de dégagement d'acide carbonique; par Casimir de Candolle, qui prétend que l'acide carbonique dégagé dans les expériences

(1) Detmer, *Traité de Physiologie végétale*, p. 97, traduit par Micheels, Paris, Rheinwald, 1880.

(2) Pfeffer, *Traité de Physiologie végétale*, traduit par Jean Friedel.

de Van Tieghem et Bonnier a été produit seulement au début de l'expérience, au moment du passage de la vie ralentie des graines à la vie parfaitement suspendue.

Enfin Victor Jodin, de Reims, pense de même, car il a constaté que des Pois, après un séjour de 4 ans et 7 mois dans une atmosphère confinée, à l'abri de la lumière, n'ont pas modifié d'une façon appréciable la composition de l'air.

Très récemment, un savant allemand, Kolkwitz, s'est élevé contre cette manière de voir (1).

En opérant sur des grains d'Orge tout à fait secs, il a trouvé qu'il y avait production d'acide carbonique et absorption d'oxygène. Si on concassait ces grains, la respiration devenait plus intense; s'ils étaient réduits en farine, et même si cette farine avait été portée pendant plusieurs heures à la température de 100°, ou trempée dans de l'alcool à 90°, la respiration continuait.

Tout cela, selon cet auteur, confirme l'existence de la vie ralentie chez les graines sèches, et l'énorme résistance du protoplasma à l'état de vie latente.

Devant tant d'opinions différentes, qui paraissent être justifiées par d'excellentes expériences, il m'a paru nécessaire d'étudier l'influence de plusieurs facteurs, tels que le rôle de la lumière, celui du tégument et celui du degré d'hydratation de la graine sur ses échanges gazeux. Il y aurait peut-être là l'explication de la variété des résultats obtenus.

J'ai accompli trois séries d'expériences à la lumière et à l'obscurité: la première avec des graines qui, dans leur état de dessiccation naturelle, renfermaient 10 à 15 p. 100 d'eau; la seconde avec des graines ayant subi leur maximum de déshydratation dans le vide avec l'aide de la baryte caustique à la température de 45° pendant trois mois.

La troisième série, avec des vieilles graines ayant séjourné à l'obscurité.

Dans les expériences de la première série, pour les graines telles que le Ricin, le Pois, le Lupin et la Fève, chez lesquelles j'ai voulu mettre en évidence l'influence de leur tégument, j'ai

(1) Kolkwitz, *Über die Athmung ruhender Samen* (Ber. d. d. Bot. Gesell., Bd XIX, 1901, p. 283-287).

constitué trois catégories de deux lots, autant que possible identiques par le nombre, le poids et la provenance.

1° Deux lots de graines à téguments intacts ;

2° Deux lots de graines entièrement décortiquées ;

3° Deux lots de téguments provenant respectivement des deux lots de graines décortiquées.

Chacun des lots fut introduit dans une petite éprouvette en verre de la même grandeur, bien sèche, dans laquelle je versais la même quantité de mercure très propre et très sec, pour avoir le même volume d'air initial.

Ces éprouvettes furent ensuite renversées sur du mercure contenu dans des verres servant de cuve.

Une des deux éprouvettes de chaque catégorie de lots fut placée à l'obscurité dans un placard bien clos, l'autre éprouvette fut exposée à la lumière d'une fenêtre donnant sur le nord-ouest, où par suite de la disposition des lieux, on n'avait le soleil que pendant une heure durant l'après-midi.

Ces éprouvettes restèrent ainsi dans le laboratoire, pendant cinq mois, du commencement de juillet jusqu'à la fin de novembre.

Au bout de ce temps, toutes ces éprouvettes ont été transportées l'une après l'autre sur l'appareil à analyse des gaz de Gaston Bonnier et Mangin, des prises directes de leur atmosphère confinée ont été faites, et leur composition centésimale déterminée.

Les tableaux suivants donnent les résultats.

I. — 1° Éprouvettes exposées à la lumière pendant cinq mois. — Graines à dessiccation naturelle dans 10 centimètres cubes d'air.

ESPÈCE DES GRAINES.	NOMBRE	POIDS	CO ² p. 100.	O ² p. 100.	Az p. 100.	CO ² O
		gr.				
1° Ricins avec téguments.....	12	5,324	4,31	12,12	83,57	0,37
2° Ricins décortiqués.....	12	4,555	1,17	15,05	83,78	0,20
3° Téguments de ces Ricins...	12	1,395	4,36	10,24	85,50	0,39
1° Lupins avec téguments.....	20	6,294	2,43	15,90	81,67	0,47
2° Lupins décortiqués.....	20	5,41	13,95	9,30	76,75	1,19
3° Téguments de ces Lupins...	20	1,280	2,12	16,05	81,83	0,42

TABLEAU I. (Suite.)

ESPÈCE DES GRAINES.	NOMBRE	POIDS	CO ² p. 100.	O ² p. 100.	Az. p. 100.	$\frac{CO_2}{O}$
1 ^o Pois avec téguments	25	6,338	0,24	20,00	79,76	0,24
2 ^o Pois décortiqués	25	5,340	0,60	17,84	81,56	0,18
3 ^o Téguments de ces Pois	25	0,528	1,42	18,05	80,53	0,48
1 ^o Fèves avec téguments	8	11,605	3,18	12,97	83,85	0,39
2 ^o Fèves décortiquées	8	10,797	4,43	14,44	81,13	0,67
3 ^o Téguments de ces Fèves	8	1,833	4,37	12,16	83,57	0,49
Blé	"	8	3,0	13,00	84,00	0,37
Panais	"	2	3,38	12,56	84,06	0,40
Pissenlit	"	2	1,49	14,24	84,30	0,21
Moutarde blanche	"	5	1,42	16,82	81,76	0,33
Navet	"	5	2,91	10,19	86,90	0,24

I. — 2^o Éprouvettes exposées à l'obscurité pendant cinq mois. — Graines à dessiccation naturelle dans 10 centimètres cubes d'air.

ESPÈCE DES GRAINES.	NOMBRE	POIDS	CO ² p. 100.	O ² p. 100.	Az. p. 100.	$\frac{CO_2}{O}$
		gr.				
1 ^o Ricins avec téguments	12	5,335	1,41	15,70	82,89	0,26
2 ^o Ricins décortiqués	12	4,280	0	20,98	79,02	0
3 ^o Téguments de ces Ricins	12	1,390	1,16	15,21	83,18	0,33
1 ^o Lupins avec téguments	12	6,175	1,69	19,60	78,71	1,13
2 ^o Lupins décortiqués	12	5,635	3,80	18,86	76,34	1,77
3 ^o Téguments de ces Lupins	12	1,347	1,50	16,91	80,59	0,36
1 ^o Pois avec téguments	25	6,510	0	20,96	79,04	0
2 ^o Pois décortiqués	25	6,087	0	20,91	79,09	0
3 ^o Téguments de ces Pois	25	0,565	0	21,00	79,00	0
1 ^o Fèves avec téguments	8	11,608	2,47	16,33	84,20	0,52
2 ^o Fèves décortiquées	8	9,535	1,12	19,38	79,50	0,69
3 ^o Téguments de ces Fèves	8	1,722	1,04	19,68	79,78	0,78
Blé	"	8,0	0,53	19,40	80,07	0,33
Panais	"	2,0	0,96	19,32	79,68	0,57
Pissenlit	"	2,0	0,70	18,69	29,39	0,30
Moutarde blanche	"	5,0	0,47	19,37	80,16	0,28
Navet	"	5,0	1,17	16,98	81,85	0,22

II. — Éprouvettes contenant des graines déshydratées et ayant séjourné un an à l'obscurité dans 10 centimètres cubes d'air.

ESPÈCE DES GRAINES.	NOMBRE	POIDS	PERTE D'EAU p. 100.	CO ² p. 100.	O ² p. 100.	Az p. 100.
Pois avec téguments.....	10	2,070	10	0	20,90	79,10
Pois décortiqués.....	10	2,033	14	0,20	19,60	80,20
Fèves décortiquées.....	5	6,540	12	0	20,85	79,15
Courges décortiquées.....	10	2,000	5,6	0	20,90	79,10
Ricins décortiqués.....	5	2,005	6,1	0	20,81	79,19
Lupins décortiqués.....	3	1,135	10	0,25	20,50	79,30

III. — Éprouvette contenant des graines âgées non décortiquées, dont la dessiccation était naturelle ayant été exposées à l'obscurité pendant 7 mois dans 4 centimètres cubes d'air.

ESPÈCE DES GRAINES.	AGE	NOMBRE	POIDS GR.	CO ² p. 100.	O ² p. 100.	Az p. 100.
Nelumbium speciosum.....	18 ans	2	2,60	0,62	19,31	80,07
Cassia bicapsularis.....	87 —	13	0,230	0,21	20,33	79,46
Leucæna leucocephala.....	71 —	4	0,130	0,20	20,44	79,36
Acacia distachya.....	53 —	12	0,745	0,20	20,61	79,19

§ 2. — Obscurité.

D'après la lecture de tous ces tableaux, on peut se rendre compte que l'obscurité, la lumière, les téguments et la déshydratation sont des facteurs très importants, parce qu'ils ont chacun une influence assez considérable sur les échanges gazeux de la graine et, par suite, sur sa vie latente.

1° A l'obscurité au bout d'un temps suffisamment long, toutes les graines dans leur état de dessiccation naturelle, qu'elles soient décortiquées ou non, en présence de l'air ordinaire qui renferme toujours une petite quantité de vapeur d'eau, dégagent des traces minimales d'acide carbonique et absorbent un certain volume d'oxygène.

2° L'intensité de ces échanges, et les proportions dans lesquelles

ils se font, et qui sont exprimées par le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$, dépendent de la nature de l'espèce considérée.

Ainsi, tandis que le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ est de 0,69 pour les graines de Fèves décortiquées, il est de 1,77 pour les graines de Lupin décortiquées; le même poids de graines de Lupin décortiquées dégage 6 fois plus d'acide carbonique que le même poids de Fèves décortiquées et absorbe 3 fois plus d'oxygène.

3° Ces échanges gazeux, comme l'avait objecté sans preuves d'ailleurs Casimir de Candolle, pour les expériences de Van Tieghem et Gaston Bonnier, ne se font pas qu'au début des expériences, qu'au moment du passage de l'état de vie ralentie à l'état de vie latente, mais bien pendant toute la durée de la vie latente.

Ce point est établi d'une manière définitive par ce fait que des graines âgées de plus de 80 ans et qui conservent encore leur vitalité, n'ont pas cessé d'absorber de l'oxygène et de dégager de l'acide carbonique, naturellement en quantité extrêmement minime (1).

§ 3. — **Lumière.**

1° *La lumière augmente dans de très grandes proportions l'intensité des échanges gazeux; elle va même jusqu'à provoquer des échanges gazeux là où on ne pouvait pas en trouver à l'obscurité.*

En effet, les échanges gazeux, qui sont nuls à l'obscurité pour les graines de Pois et de Ricin décortiquées, deviennent très appréciables à la lumière; le dégagement d'acide carbonique est de 0,60 p. 100 pour le Pois et de 1,17 pour le Ricin.

2° *La proportion dans laquelle augmente cette intensité des échanges gazeux dépend de l'espèce de graine considérée.*

Ainsi, en ne se basant que sur le dégagement de l'acide carbonique, celui-ci est trois fois plus considérable à la lumière

(1) Toutes les graines âgées étant revêtues d'un tégument imperméable et non perforé.

qu'à l'obscurité pour le Ricin muni de téguments; quatre fois plus considérable pour le Lupin décortiqué et un peu plus d'une fois et demi pour la Fève possédant son tégument.

3° *La lumière fait varier dans une même espèce et pour le même poids de graines le quotient $\frac{CO^2}{O}$; elle l'augmente ou elle l'abaisse selon les espèces considérées.*

Ainsi, pour certains lots de graines ayant leur tégument, elle augmente très légèrement ce quotient.

Ce quotient passe chez le Navet, de 0,22 à 0,24; chez la Moutarde, de 0,28 à 0,33; chez le Blé, de 0,33 à 0,37; chez le Ricin, de 0,26 à 0,37.

Dans d'autres espèces ayant aussi leurs téguments, la lumière abaisserait ce quotient. Pour le Lupin, le quotient descendrait de 1,13 à 0,47; pour la Fève, de 0,52 à 0,39; pour le Panais, de 0,57 à 0,40; pour le Pissenlit, de 0,30 à 0,21.

Enfin, dans les graines décortiquées, le quotient s'abaisse légèrement pour la Fève, de 0,69 à 0,67 et un peu plus pour le Lupin, de 1,77 à 1,19.

Cette augmentation des échanges gazeux et cette variation du quotient $\frac{CO^2}{O}$, produites sous l'action de la lumière, sont des phénomènes tout à fait caractéristiques de la vie latente des graines.

Car ils ne se rencontrent jamais dans les échanges gazeux des tissus sans chlorophylle à l'état de vie active.

En effet, Gaston Bonnier et Mangin (1) ont démontré, que, pour les graines dans leurs premières phases de germination et pour les Champignons, la lumière diminuait un peu l'intensité respiratoire et ne faisait jamais varier le rapport $\frac{CO^2}{O}$ du volume d'acide carbonique émis au volume d'oxygène absorbé.

Cette oxydation des substances organiques sous l'action de la lumière est un fait très général.

(1) Gaston Bonnier et Mangin, *Sur la respiration des végétaux sans chlorophylle* (C. R. de l'Acad. des Sc., t. XCIX, n° 3, p. 161).

Depuis longtemps, elle a été étudiée par de nombreux savants. Chevreul a prouvé que la cellulose exposée à l'air et au soleil dégageait de l'acide carbonique. Mon grand-père Edmond Becquerel (1), dans son beau livre sur la Lumière, a cité un grand nombre de substances végétales, telles que les résines et les huiles essentielles, qui sont à la longue décomposées en présence de l'oxygène sous l'action des rayons lumineux. Duclaux (2), dans un mémoire sur le même sujet, a démontré que de nombreuses substances hydrocarbonées, telles que l'acide oxalique, l'acide tartrique, les sucres, absorbaient de l'oxygène sous la même influence.

Il aurait été étonnant que la substance des graines, et surtout des membranes superficielles des cellules végétales, imprégnées de matières cireuses, ou de cutine, ait échappé à cet effet.

4° La lumière, en présence de l'oxygène provoquant ainsi une lente décomposition des substances hydrocarbonées de la graine, arrive, au bout d'un temps plus ou moins long, à porter atteinte à son pouvoir germinatif.

Dans mes expériences, comme elles n'étaient pas soumises à l'action directe des rayons solaires, cette perte du pouvoir germinatif des graines n'a pu être décelée que dans les petites graines de Panais et de Pissenlit.

Les expériences de Jodin et surtout de Laurent sur ce point confirmeraient ce fait.

Jodin (3), n'ayant opéré que sur le Cresson alénois, aurait constaté que les graines non sèches, exposées au soleil dans des tubes scellés, perdaient au bout de quelques semaines leur pouvoir germinatif, tandis que celles qui étaient desséchées paraissaient résister indéfiniment.

Il attribuait ce résultat autant à la chaleur qu'à la lumière, car la température était montée au cours de ces expériences jusque vers 50°.

Laurent (4), ayant expérimenté sur un très grand nombre d'espèces de graines placées dans des tubes fermés par un tam-

(1) Edmond Becquerel, *La lumière, ses causes, ses effets*, t. II, p. 56. Firmin Didot, 1868.

(2) Duclaux, *Action de la lumière solaire sur les hydrates de carbone*.

(3) V. Jodin, *C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. CXXXV, p. 443, 1902.

(4) E. Laurent, *C. R. de l'Acad. des Sc.*, p. 1295, 1902.

pon de ouate, a observé que la plupart des graines des Composées telles que celles du Pissenlit et diverses Épervières, perdaient très facilement leur pouvoir germinatif, après 40 jours d'insolation. Par contre, chez d'autres graines, telles que la Moutarde, le Trèfle, le Seigle et le Blé, il a constaté un retard dans la germination.

5° *Les rayons qui agissent sur les graines sont les rayons les plus réfrangibles qui appartiennent au bleu, violet et ultra-violet de la région du spectre.*

J'en ai eu la preuve par les expériences que j'ai exécutées avec le concours de P. Broca dans son laboratoire de physique à la Faculté de Médecine.

Nous avons soumis à l'action de la lumière électrique de l'arc aufer pendant six heures des graines décortiquées de Pois, de Lupin et de Fève placées sous des écrans liquides variés, contenant du sulfate de quinine, de l'alun, du bichromate de potasse et de l'oxyde de cuivre ammoniacal, dont la région interceptée des rayons du spectre était connue.

Cette durée de six heures n'a pas été assez longue pour porter atteinte au pouvoir germinatif des graines et retarder d'une façon notable la germination.

Mais cependant elle a été suffisante pour brunir fortement la surface des graines exposées au rayonnement, sous les écrans qui ont laissé passer les rayons bleus, violets et ultra-violets, tels que ceux à l'alun, et à l'oxyde de cuivre ammoniacal. Cette brunissure était identique à celle que nous avons obtenue chez des graines de même espèce, décortiquées, qui ont été exposées à la lumière pendant cinq mois dans les éprouvettes renversées sur le mercure et dont l'atmosphère interne a été analysée.

§ 4. — Tégument.

Dans toutes les expériences réalisées sur les échanges gazeux des graines, bien qu'avant nous aucun observateur ne s'en soit aperçu, le tégument a une importance capitale.

1° *Tous les téguments isolés des lots respectifs des graines décortiquées à l'obscurité comme à la lumière ont dégagé et absorbé d'assez grandes quantités de gaz.*

a) A l'obscurité, pendant que le lot de Ricins décortiqués n'avait aucunement modifié son atmosphère confinée, le lot de leurs téguments avait dégagé 1,61 p. 100 d'acide carbonique et abaissé la quantité normale d'oxygène de 21 à 15,21 p. 100.

Si l'on prenait dans ce cas les échanges gazeux pour une véritable respiration, on arriverait à cette constatation étrange autant que paradoxale : c'est que les téguments, constitués de tissus morts, respireraient, pendant que la plantule avec son albumen ayant conservé son pouvoir germinatif, n'ayant absorbé ni dégagé la moindre parcelle de gaz, serait morte.

A l'obscurité, il n'y a qu'une exception pour les téguments de Pois, qui n'ont pas séjourné assez longtemps pour pouvoir modifier d'une façon appréciable leur air confiné.

b) A la lumière, les échanges gazeux des téguments de tous les lots respectifs des graines décortiquées ont été beaucoup plus considérables.

Ainsi, la quantité d'acide carbonique des téguments de Fève passe de 1,04 p. 100 qu'elle était à l'obscurité, à 4,37 à la lumière. Les téguments de Pois, qui n'ont rien dégagé à l'obscurité, donnent à la lumière 1,42 p. 100.

2° *La valeur des échanges gazeux des téguments dépend de l'espèce à laquelle ils appartiennent.*

Ainsi, pendant que le lot de téguments de Fève dégage à l'obscurité 1,04 de CO_2 , et a un rapport $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = 0,78$, le lot de téguments du Lupin en émet 1,50 p. 100 et a un rapport de $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}} = 0,36$.

3° *Les échanges gazeux des téguments, comparés avec les échanges gazeux des graines décortiquées dont ils proviennent, sont, pour le même poids de substance, infiniment plus considérables.*

1 gramme de téguments de Ricin exposés à la lumière dégage 18 fois plus d'acide carbonique que 1 gramme de graines décortiquées dont ils proviennent.

De même, 1 gramme de téguments de Fève dégage 10 fois plus d'acide carbonique que 1 gramme de ses cotylédons et sa plantule ; 1 gramme de téguments de Pois en émet 25 fois plus.

Le Lupin fait seule exception ; en effet, 1 gramme de son tégument rejette un tout petit peu moins d'acide carbonique que 1 gramme de la substance de sa graine.

4° *Les échanges gazeux des lots des téguments imperméables, isolés, comparés avec les échanges gazeux des lots de graines munies de téguments imperméables, sont, à quelques chiffres décimaux près, absolument les mêmes : si bien qu'il est ainsi prouvé expérimentalement, que toutes les recherches qui ont été faites avant nous sur des graines non décortiquées telles que le Pois, le Lupin, la Vesce, la Luzerne, n'ont mis en valeur que les échanges gazeux des téguments protecteurs.* Les conclusions que l'on en a tirées pour la respiration de l'ensemble de la graine ne peuvent plus être maintenues.

Ainsi, comme exemple, nous pouvons prendre le Lupin : 1^{er}, 280 de téguments de Lupin provenant du lot de Lupins décortiqués pesant 5^{gr}, 41, dégage à l'obscurité 1,50 p. 100 de CO² pendant que 6^{gr}, 175 de Lupins avec leur tégument rejettent 1,69 p. 100 de CO².

5° *Pour les graines qui possèdent un tégument perméable, les échanges gazeux de l'embryon et des cotylédons s'ajoutent à ceux du tégument.*

L'exemple le plus frappant nous est offert par la Fève, dont le micropyle joue le rôle d'une perforation naturelle.

A l'obscurité, 1^{er}, 722 de tégument de Fève provenant du lot de graines décortiquées qui pesait 9^{gr}, 535 dégage 1,04 p. 100 d'acide carbonique, alors que le lot de graines munies de leur tégument pesant 11^{gr}, 608 émet un peu plus du double d'acide carbonique, 2,47 p. 100.

Or, cette augmentation de CO² s'explique par la part qu'ont prise dans sa production les cotylédons et la plantule.

En effet, le lot de graines décortiquées qui pesait 9,535 a dégagé 1,12 p. 100 de CO². Ce chiffre, ajouté à celui du dégagement de CO² du lot de téguments, donne un chiffre qui avoisine bien celui du dégagement total du lot de graines munies de téguments. Avec la graine de Ricin, la vérification de ce fait est encore plus nette. Comme les échanges gazeux produits par l'albumen et par les plantules sont inappréciables, on peut ne pas en tenir compte.

On constate alors que 1^{er},390 de téguments provenant de 4^{er},80 de Ricins décortiqués émettent 1,61 p. 100 de CO², chiffre bien voisin de 1,41 p. 100 de CO² que dégage le lot de Ricins avec téguments qui pèse 5^{er},335. Si l'on fait la part de la différence légère de poids entre les lots, de la nature individuelle des graines, enfin des changements de condition de milieu par suite de la décortication, qui offre toujours une plus grande surface à l'air, ces chiffres très approximatifs n'en paraissent que plus démonstratifs.

6° *Le rôle biologique du tégument, qui protège la graine contre l'oxydation de l'atmosphère, est nettement mis en évidence par ces expériences.*

En effet, le même poids des graines décortiquées, exposées à la lumière et à l'obscurité dans les cas de téguments imperméables, dégagent et absorbent souvent beaucoup plus de gaz que le même poids de graines munies de téguments.

Ainsi à la lumière, pendant que 5^{er},340 de Pois décortiqués dégagent 0,60 p. 100 d'acide carbonique, 6^{er},338 de Pois munis de téguments en rejettent 0,24; pendant que 5^{er},41 de Lupins décortiqués émettent 13,95 p. 100 de CO², 6 grammes de Lupins avec téguments en dégageront 2,43 p. 100.

Ce fait explique très bien, dans une certaine mesure, pourquoi la plupart des graines qui ont la plus grande longévité se rencontrent parmi celles qui ont un tégument imperméable.

L'accès de l'air, provoquant à la longue la décomposition du protoplasma et des réserves des cellules de la graine, nuit à la conservation du pouvoir germinatif.

§ 5. — Déshydratation.

Mais l'air ne peut agir que s'il est chargé d'une quantité infinitésimale de vapeur d'eau et si le protoplasma des graines contient une certaine quantité d'eau.

Aussi la déshydratation retentit-elle puissamment sur les échanges gazeux des graines. On peut s'en convaincre en parcourant le tableau des expériences que j'ai exécutées avec des graines déshydratées exposées dans l'air sec à l'obscurité.

Pour certaines espèces de graines, telles que la Courge, la Fève,

le Ricin, décortiquées exposées à l'obscurité, la déshydratation réduit tellement les échanges gazeux qu'il est impossible au bout d'un temps assez long, de déceler le moindre dégagement d'acide carbonique, et cependant le pouvoir germinatif n'est pas aboli.

CHAPITRE VI

NATURE DES ÉCHANGES GAZEUX DES GRAINES

§ 1. — Échanges gazeux des graines après leur mort.

Dans les expériences précitées, on a vu que très souvent, même à l'obscurité, les parties mortes du tégument de la graine dégageaient beaucoup plus d'acide carbonique et absorbaient davantage d'oxygène que les cotylédons et la plantule, qui conservaient leur vitalité.

En comparant les quotients respiratoires du même poids de graines exposé pendant le même temps à la lumière et à l'obscurité, j'ai constaté que ces quotients subissaient une assez grande variation. Or, c'est là une loi qu'on n'a jamais retrouvée dans la respiration des tissus vivants sans chlorophylle, germinations de graines dès leur début, racines, champignons ou le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ a toujours été invariable.

Enfin, j'ai démontré que la déshydratation de la graine pouvait aller jusqu'à supprimer dans l'air sec tous les échanges gazeux sans anéantir sa faculté germinative.

Or, que se passerait-il si l'on opérait avec des graines mortes renfermant, comme dans leur état naturel, une certaine quantité d'eau.

Si jamais, dans ce cas, les échanges gazeux étaient supprimés, on pourrait penser que l'on a eu affaire à une véritable respiration, puisque celle-ci aurait cessé avec la mort. J'ai opéré avec des graines âgées perforées ayant perdu leur pouvoir germinatif, puis comparativement avec du Blé vivant et du Blé tué par l'action de la chaleur à 140° pendant une demi-heure. Ces grains ont été placés à l'obscurité dans des éprouvettes renversées sous le mercure pendant cinq mois.

Les résultats des analyses de l'air confiné où ont séjourné ces graines, montrent que *même chez les graines mortes natu-*

ESPÈCES	NOMBRE	POIDS	CO ² p. 100.	O ² p. 100.	Az p. 100.	CO ² O
<i>Ricinus leucocarpus</i> de 1849 dans 2 c. c. d'air.....	4	gr. 1,990	0,86	19,18	79,96	0,47
<i>Gleditchia lavis</i> de 1827 dans 2 c. c. d'air.....	4	1,340	0,99	20,11	78,81	1,02
Blé vivant dans 10 c. c. d'air...	»	8,0	0,53	19,40	80,07	0,33
Blé mort dans 10 c. c. d'air....	»	8,0	1,13	15,01	83,86	0,18

rellement de vieillesse, ou tuées par la chaleur, les échanges gazeux continuent à se faire comme si elles avaient conservé leur pouvoir germinatif.

Pour le Blé, si on admettait que les échanges gazeux sont produits par une véritable respiration, il respirerait plus après sa mort que pendant sa vie.

En effet, pendant que le Blé vivant dégage 0,53 p. 100 d'acide carbonique, le Blé mort en émet, pour le même poids et dans le même temps, 1,13 p. 100. Le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ seula baissé; de 0,33 pour le Blé vivant, il est passé à 0,18 pour le Blé mort.

§ 2. — Les gaz irrespirables.

Comme les résultats de ces expériences ne peuvent pas nous démontrer que les échanges gazeux des graines sont le produit d'une véritable respiration, parce qu'on peut objecter que la mort des graines tout en supprimant leur véritable respiration a rendu leur substance beaucoup plus oxydable, pour avoir la solution de cette question, nous n'avons plus qu'une ressource, c'est d'expérimenter avec les milieux où la respiration n'est plus possible.

Si jamais, dans ces conditions, la graine maintient son pouvoir germinatif, c'est que les échanges gazeux que nous avons constatés sont les résultats d'une simple oxydation. Pour se conserver, la graine n'aurait donc pas besoin de respirer.

Ce raisonnement, plusieurs savants l'ont déjà fait et ils ont expérimenté en conséquence.

Ainsi que je l'ai très sommairement indiqué au commencement de cette étude, Giglioli a porté ses recherches sur l'action des gaz hydrogène, oxygène, azote, chlore, acide chlorhydrique, hydrogène sulfuré, hydrogène arsénié, oxyde de carbone, acide carbonique, peroxyde d'azote.

Avec l'acide carbonique et l'hydrogène renfermés dans des ampoules de verre qui contenaient des graines de Luzerne, de Pois, de Blé, de Coriandre, au bout de seize ans et plusieurs mois, il n'a pu obtenir aucune germination.

Avec l'oxygène, après un séjour de seize années, 2 graines de Luzerne sur 293 ont levé; avec l'hydrogène sulfuré, 1 graine de Luzerne sur 100; avec le peroxyde d'azote, 3 sur 309; avec l'azote, 181 sur 320; l'hydrogène arsénieux a donné 181 germinations sur 255; l'oxyde de carbone, 224 sur 266.

Cet observateur attribuant la baisse du pouvoir germinatif à une mauvaise dessiccation, n'en pense pas moins que ses expériences prouvent d'une façon indiscutable, la suspension de la respiration chez les graines qui ont pu se maintenir en vie latente dans les gaz irrespirables.

De même Romanes (1), ayant opéré avec des graines de Betterave, de Trèfle, de Moutarde, de Cresson alénois, de Pois, parfaitement desséchées dans le vide et qui ont séjourné après, pendant douze mois, dans de l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, l'hydrogène sulfuré, les vapeurs d'éther et de chloroforme, n'a constaté aucune perte dans la faculté germinative de ces graines; il en a conclu aussi à l'existence d'une vie parfaitement suspendue.

Comme je l'ai déjà démontré, il est impossible d'accepter les conclusions que ces deux savants ont tirées de leurs recherches, parce qu'ayant opéré sur des graines sèches à téguments devenus complètement imperméables, ils ne les avaient pas perforées pour mettre les gaz en contact avec les cellules de la plantule.

On peut toujours leur objecter qu'à l'intérieur de leur tégument parfaitement clos, les graines peuvent vivre d'une vie

(1) Romanes, *Proc. Royal Society* (Nature, déc. 1893).

extrêmement ralentie aux dépens des réserves gazeuses accumulées dans les méats intercellulaires et dans les faisceaux libéroligneux.

J'ai donc repris ces expériences avec des graines décortiquées ou perforées, en ne me servant que de deux gaz, l'un complètement inerte, l'azote, l'autre réputé toxique, l'acide carbonique.

A. *L'Azote*. — Les graines en partie décortiquées furent le Blé, le Ricin, la Fève et le Pois. Ces graines avaient été auparavant desséchées dans le vide avec de la baryte caustique anhydre pendant deux mois à la température de 45°.

L'expérience fut ainsi disposée : chaque lot comprenant des graines d'une seule espèce fut introduit dans un ballon de verre hermétiquement fermé, muni de deux tubulures ; une des tubulures possédant un robinet de verre était en communication avec le récipient d'une machine pneumatique, tandis que l'autre tubulure aboutissait à une série de tubes en U contenant de la baryte caustique, destinée à dessécher le gaz ; ces tubes en U correspondaient par un ajutage avec une bombe d'azote liquide.

Ensuite j'ai réalisé le vide dans le ballon et j'ai introduit une première fois de l'azote en desserrant légèrement le piston de la bombe ; puis j'ai arrêté le passage du gaz et j'ai recommencé à faire le vide et à recevoir de nouveau du gaz. Cette manœuvre a été répétée plusieurs fois jusqu'à ce que j'aie été sûr que tout l'air du ballon et des graines fût remplacé par de l'azote. A ce moment, j'ai fermé les deux tubes du ballon en les étirant et les fondant sous l'action de la flamme d'un bec Bunsen et je les ai détachés des appareils ; cette opération fut faite de la même manière pour les trois autres ballons. Tous les ballons furent placés dans un placard à l'abri de la lumière.

Au bout d'un an, j'ai réalisé des prises d'atmosphère dans l'intérieur des ballons et je les ai analysées avec l'appareil de Mangin et Gaston Bonnier. Les graines retirées furent mises à germer, et leurs germinations furent comparées avec celles de graines témoins conservées dans des sachets en papier.

Graines ayant séjourné un an dans l'azote.

ESPÈCE.	NOMBRE.	PERTE d'eau p. 100.	CO ² p. 100.	GRAINES germées.	GRAINES témoins germées
Blé décortiqué.....	100	11	0	95	98
Pois perfores	30	14	0	29	28
Ricins décortiqués.....	14	6	0	14	14
Fèves décortiquées.....	14	20	0	7	6

Par ces expériences il est donc établi :

1° *Que l'azote n'a aucune influence sur la faculté germinative des graines décortiquées, puisque le taux germinatif des graines expérimentées est sensiblement le même que celui des graines témoins ;*

2° *Qu'il n'y a pas eu de respiration intramoléculaire décelable, au moins pendant la durée d'un an, puisqu'il n'y a pas eu de production d'acide carbonique.*

B. *L'acide carbonique.* — Tous les résultats obtenus avant moi avec l'acide carbonique, d'un côté par Giglioli et de l'autre par Van Tieghem et Gaston Bonnier furent négatifs. Je n'en ai pas moins persévéré à expérimenter avec ce gaz.

J'ai opéré sur des graines d'une dizaine d'espèces, réparties en trois lots.

Les graines du premier lot avaient subi une immersion d'un quart d'heure dans l'eau.

Celles du deuxième lot, qui se trouvaient dans leur état de dessiccation naturelle, avaient eu leur tégument perforé ou retiré.

Enfin celles du troisième lot, perforées ou décortiquées, avaient été desséchées pendant deux mois dans le vide à la température de 45° avec de la baryte caustique anhydre.

Chacun des lots avait été placé dans un ballon de verre fermé par un bouchon enfoncé un peu au-dessous du col pour qu'on puisse le recouvrir de cire Golaz.

Deux tubes de verre coudés, traversant le bouchon, mettaient en communication le ballon avec le ballon suivant.

Ensuite je fis arriver dans chaque ballon pendant un temps assez long un fort courant d'acide carbonique qui avait été des-

séchés auparavant en passant dans des tubes en U qui contenaient de la baryte caustique anhydre.

Le gaz acide carbonique avait été fourni par une bombe d'acide carbonique liquide.

Une fois les ballons remplis de gaz, je les détachai les uns des autres en étirant et fermant chacun de leurs tubes à la flamme d'un bec Bunsen. Au bout de onze mois je fis des prises d'atmosphère dans l'intérieur de ces ballons pour m'assurer de leur teneur en acide carbonique : elle était de 98 p. 100.

J'ai retiré ensuite les graines — et je les ai exposées pendant plusieurs jours à l'air — pour qu'elles puissent se débarrasser de tout leur acide carbonique. Après les avoir trempées dans l'eau, je les ai mises à germer sur du coton hydrophile humide. Voici quels furent les résultats.

Graines ayant séjourné onze mois dans l'acide carbonique.

ESPÈCE.	NOMBRE.	Germina- tions du 1 ^{er} lot. Graines humectées.	Germina- tions du 2 ^e lot. Graines ordinaires aux téguments perforés.	Germina- tions du 3 ^e lot. Graines desséchées aux téguments perforés.	Germina- tions des graines témoins.
Blé.....	10	0	8	10	9
Avoine.....	10	0	9	9	10
Pois.....	10	0	10	10	9
Lupin.....	10	0	8	7	8
Luzerne.....	10	0	10	10	10
Trèfle.....	10	0	10	10	10
Cresson alénois.....	10	0	10	9	10
Moutarde.....	10	0	10	10	9
Sarrasin.....	10	0	10	10	10
Courge.....	10	0	10	10	10
Pin pignon.....	»	»	8	9	9

Toutes les graines du premier lot qui avaient été légèrement humectées furent tuées. Par contre, la plupart des graines du second lot et toutes celles qui avaient été desséchées et déortiquées levèrent et donnèrent de fort belles germinations ; ce furent les graines de Pin pignon, de Courge, de Sarrasin, de Moutarde, de Cresson alénois, de Trèfle, de Luzerne, de Lupin, de Pois, d'Avoine et de Blé.

Comme on pourrait objecter à ces expériences qu'il y avait des

traces d'air dans l'atmosphère d'acide carbonique et qu'il pouvait en rester dans l'intérieur des graines, je les ai recommencées en adoptant le dispositif déjà décrit pour l'azote.

Des graines de Pois et de Blé, en partie décortiquées et qui avaient été desséchées pendant deux mois dans le vide avec de la baryte caustique à la température de 45°, furent introduites dans un petit ballon à deux tubulures en verre, l'une communiquant avec la machine pneumatique, l'autre avec les tubes en U à baryte caustique par où passait le gaz acide carbonique. Le gaz acide carbonique provenait encore d'une bombe d'acide carbonique liquide.

Après avoir fait plusieurs fois le vide et rempli plusieurs fois le ballon avec de l'acide carbonique, nous avons détaché le ballon des appareils en étirant et fermant les tubes à la flamme. *Au bout de dix mois, les graines furent mises en germination; toutes germèrent.*

Or, comme d'après les expériences que j'ai rapportées au commencement de ce travail, il a été démontré que les cotylédons des graines sont très poreux, *on est certain que l'acide carbonique a pénétré dans l'intérieur des cotylédons et de la plantule.* Toute la question est de savoir si le gaz acide carbonique a pu pénétrer par les communications protoplasmiques dans l'intérieur des cellules, c'est ce qu'il est presque impossible de prouver.

Ces graines se comporteraient comme de nombreuses Bactéries étudiées par Fränkel (1).

Cet auteur avait remarqué que l'acide carbonique ne montrait aucune nocivité pour le Bacille typhique, le Pneumocoque, le Bacille de la fermentation lactique de Hueppe.

De même végétaient aussi bien dans le gaz que dans l'air, mais avec un peu plus de lenteur, le *Micrococcus prodigiosus*, le *Proteus vulgaris*, le *Bacillus phosphorescens*.

Chappuis a aussi observé que des spores de Mucorinées peuvent séjourner sans perdre leur vitalité dans l'acide carbonique.

Cette résistance des graines à l'action de ce gaz ne serait donc pas un cas particulier dans le règne végétal.

(1) Fränkel, cité dans le *Traité de Bactériologie* de Massé, p. 66, 1897.

§ 3. — Action du mercure.

Casimir de Candolle a maintenu immergé sous le mercure pendant 6 mois des grains de Blé. Jodin a pu conserver sous le mercure pendant près de 10 ans des graines de Pois et constater, qu'après cette durée, les graines n'avaient pas perdu leur pouvoir germinatif. Mais, comme dans ces expériences les graines n'avaient pas été décortiquées, ni privées de leur atmosphère interne d'air, on peut toujours leur objecter que cette atmosphère a été la cause de la conservation de leur faculté germinative.

Voici les deux expériences que j'ai réalisées.

1° Dans un large flacon à moitié plein de mercure bien sec, j'ai plongé un petit ballon de verre rempli de mercure et qui contenait, immergées dans son fond, 50 graines de Pois perforées non déshydratées; ces graines avaient été introduites sous le mercure avec beaucoup de précaution pour éviter l'adhérence des bulles d'air. Les graines restaient maintenues au fond du ballon par l'étroitesse du col.

J'ai apporté ensuite sur cette cuve à mercure improvisée, une éprouvette renversée pleine de mercure que j'ai disposée de telle manière que le col du ballon restant immergé sous le mercure, se trouvât engagé dans son intérieur. Ceci fait, j'ai bouché hermétiquement le grand flacon par un bouchon de liège recouvert de cire et traversé de deux tubes de verre coudés. Puis, ce flacon fut placé dans un bain-marie à 50°. Après avoir mis une des tubulures en communication avec une machine pneumatique Carré, et l'autre avec une trompe à mercure de Schlœsing, j'ai réalisé le vide d'abord avec la machine pneumatique. J'ai alors séparé l'appareil de sa communication en étirant et scellant le tube qui l'assurait. Ensuite, j'ai achevé ce vide avec la trompe à mercure.

Celui-ci obtenu, j'ai détaché ce flacon en étirant et en fondant à la flamme une petite partie du tube qui le reliait à la trompe.

Cet appareil fut laissé au bain-marie, à la température de 55° pendant huit jours. Les gaz contenus dans les graines se dégagèrent lentement et vinrent se loger dans le vide de l'éprouvette.

Au bout de ce temps, pensant que le dégagement de tous les gaz avait cessé, je laissais entrer l'air dans le flacon, et le mercure remonta dans l'éprouvette en emprisonnant le volume de gaz. Après, je rangeais le flacon dans un placard à l'abri de la lumière, et les graines restèrent ainsi sous le mercure pendant un an.

Au bout de ce temps, j'ai retiré de l'appareil les graines, et j'ai analysé les gaz qui avaient été dégagés dans l'éprouvette au début de l'expérience; il y en avait 2 centimètres cubes et demi; l'analyse donna :

Vapeur d'eau.....	Traces très appréciables.
CO ²	0,47 p. 100.
Oxygène.....	18,63 —
Azote.....	80,00 —

Ainsi l'atmosphère interne des graines est encore assez importante.

Sur 50 graines de Pois, 46 germèrent.

Ayant trouvé des petites gouttelettes de mercure entre les cotylédons des graines qui ne levèrent pas, j'ai attribué leur mort à l'action des vapeurs mercurielles.

2° J'ai refait cette expérience avec 10 graines de Pois déshydratées et au tégument perforé placées dans un ballon muni de deux tubes de verre avec robinets, identique à ceux dont je me suis déjà servi pour mes expériences sur l'azote et l'acide carbonique.

Après avoir fait le vide le plus parfait dans le ballon, j'ai ouvert un des robinets d'un des tubes plein de mercure qui était en communication avec un récipient à mercure. Le mercure est venu prendre la place du vide et immerger les graines privées de leur atmosphère interne.

Ces graines, qui sont restées ainsi 6 mois, n'ont pas du tout perdu la faculté de germer.

Par conséquent, que les graines aient leur tégument perforé ou non, qu'elles soient dans leur état d'hydratation naturelle, ou desséchées, ou privées de leur atmosphère interne, elles conservent sous le mercure leur faculté de germer.

§ 4. — Action du vide.

L'action du vide a été étudiée par Kochs, Romanes, Laurent et Maquenne.

Ainsi que j'en ai déjà dit, dans le court historique de ce travail, Kochs (1) est le premier qui ait constaté qu'au bout de 2 mois, des graines sèches de Blé non décortiquées ont pu conserver leur pouvoir germinatif sans émettre le moindre dégagement de gaz décelable par la spectroscopie.

Il a aussi introduit pendant 3 semaines, dans un vide assez rigoureux, des graines de Radis non desséchées, mais qui avaient eu leur tégument perforé. Ces graines ont parfaitement germé.

Mais comme il a opéré sans desséchant, il est plus que certain que ces graines n'ont pas atteint la limite de leur dessiccation, et s'il avait fait l'analyse des gaz dégagés, il aurait trouvé certainement des gaz tels que l'azote, l'oxygène, la vapeur d'eau et des traces d'acide carbonique provenant de l'atmosphère interne de ces graines et qui auraient diminué fortement le vide.

Ces expériences étant de trop courte durée, la conclusion qu'il en a tirée est un peu trop hâtive.

Romanes (2) a opéré avec des soins plus méticuleux, et pendant un temps beaucoup plus long, avec l'aide d'un illustre physicien, William Crookes.

Il a soumis des graines de Moutarde, de Betterave, de Trèfle, de Pois, de Fève, d'Épinard, de Cresson, d'Orge et de Radis pendant 15 mois, à un vide d'un millionième d'atmosphère; ces graines restèrent enfermées dans des tubes scellés.

Malheureusement, lors de la mise en germination de ces graines il n'a été fait aucune analyse de l'atmosphère des tubes scellés, et il est bien vraisemblable que ce vide ait fortement diminué sous l'action de la lente dessiccation des graines.

D'ailleurs toute l'eau des graines, par suite de l'imperméa-

(1) Kochs, *Kann die Kontinuität der Lebensvorgänge zeitweilig völlig unterbrochen werden* (Biologische Centralblatt, 673-686, 15 déc. 1890).

(2) Romanes, *Royal Society*, 16 nov. 1893.

bilité des téguments, qui est devenue de plus en plus parfaite à mesure de sa dessiccation, n'a certainement pu sortir.

Si toutes les graines, après ce séjour dans le vide, ont pu germer, l'objection qu'elles ont conservé leur pouvoir germinatif, grâce aux faibles traces d'eau qu'elles renfermaient, subsiste toujours; on ne peut affirmer dans ce cas, que l'on a eu affaire à une véritable vie suspendue où des échanges gazeux, si minimes soient-ils, n'ont pu s'effectuer.

Les expériences de Laurent⁽¹⁾, qui ont duré 7 ans, paraissent contredire celles de Romanes, et justifier en partie la critique que je viens d'en faire.

Ce savant a opéré avec des graines non desséchées artificiellement, dont les téguments n'avaient été ni enlevés, ni perforés mais dont beaucoup étaient perméables.

Ces expériences ont porté sur 27 espèces et variétés appartenant à des familles diverses et dont les graines furent introduites dans des ampoules de verre, à l'intérieur desquelles on fit le vide avec soin au moyen de la trompe à mercure.

Ces espèces furent le Froment, le Seigle, l'Orge à six rangs, l'Avoine, le Maïs, la Betterave à sucre, le Pavot, le Colza, le Cumin, la Mâche, le Poireau, le Sarrasin argenté, l'Épinard, la Spergule, la Caméline, la Moutarde noire, la Moutarde blanche, le Cresson alénois, le Navet de Berlin, le Chou de Milan, le Haricot princesse, le Haricot nain d'Étampes, le Lupin blanc, le Trèfle, le Cerfeuil cultivé, le Concombre, le Chou-rave blanc.

« De chaque espèce de graines, un échantillon fut gardé dans un tube à essai bouché avec un tampon de coton peu serré; tous les tubes témoins furent conservés dans une boîte dont le fond était percé de trous pour permettre le dégagement d'anhydride carbonique émis par les graines. Ces tubes et les ampoules contenant les semences dans le vide furent conservés côte à côte à l'obscurité.

Des essais de germination des graines des deux séries ont été faits en mars 1897 après 2 ans et demi, en septembre 1899 après 5 ans, enfin en janvier 1902 après 7 ans et 4 mois.

En voici les résultats :

(1) E. Laurent, *C. R. de l'Acad. des Sc.*, 15 déc. 1902, p. 1091.

1° Au bout de 2 ans, les graines des espèces suivantes ont mieux germé, après conservation dans le vide que dans l'air : Poireau, Épinard, Colza, Chou-rave, Chou de Milan, Moutarde blanche, Moutarde noire, Lupin, Trèfle, Cumin, Cerfeuil, Mâche et Courge.

La germination a été semblable dans les deux catégories pour le Cresson alénois, Navet, Spergule, Pavot, Haricot.

Au contraire, les graines de Froment, de Seigle, d'Orge, d'Avoine, de Maïs, de Sarrasin germèrent mieux après conservation à l'air.

2° Au bout de 5 ans de conservation, le vide se montrait avantageux pour : Épinard, Colza, Chou-rave, Chou de Milan, Navet, Moutarde blanche, Moutarde noire, Cresson alénois, Lupin, Trèfle, Haricot, Mâche et Courge.

L'absence d'air avait nui aux semences de Froment, Seigle, Orge, Avoine, Maïs, Sarrasin, Spergule et Pavot.

Les graines de Poireau, de Cumin, de Cerfeuil étaient mortes dans l'air comme dans le vide.

3° Après 7 ans et 4 mois, on a constaté que les grains de Haricot, de Chou-rave et de Trèfle germaient mieux quand elles avaient été soustraites à l'action de l'air. Toutes les semences de ces deux dernières espèces étaient mortes dans les tubes ouverts. »

Voici la conclusion que Laurent tire de ces essais :

« Les graines oléagineuses se conservent mieux dans le vide que dans l'air; c'est évident pour le Colza, le Chou, la Moutarde, le Cumin, le Cerfeuil et la Courge. Le Pavot seul a fait exception.

« Après 5 ans, ses semences avaient mieux résisté à l'air que dans le vide.

« Parmi les graines amylacées, les unes se sont mieux gardées à l'abri de l'air, Épinard, Mâche, Trèfle, Lupin, Haricot, tandis que celles de Froment, de Seigle, d'Orge, d'Avoine, de Maïs et de Sarrasin se sont altérées plus rapidement à l'abri de l'air.

« Tout au moins pour certaines de ces espèces, ce résultat doit être attribué à l'influence toxique de l'anhydride carbonique, qui dans les vases clos s'exerce sur les embryons. Ce gaz

se dégage en quantité d'autant plus grande que les graines sont, au moment où on les enferme, plus riches en eau, ce qui favorise l'activité respiratoire. En effet, les semences des diverses céréales étudiées en septembre 1894, provenaient de la récolte de la même année et possédaient donc beaucoup d'eau. Les ampoules qui contenaient ces graines renfermaient de l'acide carbonique ; c'est donc celui-ci qui a causé la mort des embryons chez les graines amylacées en question.

« Un essai sur la conservation du pouvoir germinatif dans le vide a été fait avec des graines de *Coffea arabica*, si sensibles à l'action de l'air. J'en avais reçu 223 de M. Delpino, directeur du Jardin botanique de Naples. 23 furent aussitôt semées en terre et germèrent sans exception. De deux lots de 100 graines l'un fut maintenu dans des tubes à essai fermés avec du coton, l'autre fut mis dans quatre tubes, où l'on fit ensuite le vide avec soin. Après 4 mois de conservation, toutes les graines soustraites à l'air ont germé tandis que toutes les autres étaient mortes.

« Il convient donc de distinguer dans la conservation du pouvoir germinatif des graines en atmosphère confinée une action propre à l'oxygène et une autre spéciale à l'acide carbonique. »

De ces expériences, on ne peut pas du tout tirer une conclusion favorable à la thèse soutenue par Romanes, que la vie de la graine est suspendue dans le vide.

En effet, le vide prolongé a nui à beaucoup d'espèces, et il y a de grandes probabilités que si l'on avait attendu au lieu de 7 ans un temps beaucoup plus long, presque toutes les espèces seraient mortes.

La cause la plus importante de la perte du pouvoir germinatif dans ces expériences ne doit pas être attribuée à la production d'acide carbonique, mais bien à ce fait qu'aucune des graines n'a été déshydratée. En effet, la quantité d'eau qu'elles renfermaient suffisait même dans le vide à assurer la continuation d'une vie très ralentie qui s'est terminée par l'asphyxie lorsque tout l'oxygène a été consommé et remplacé par de l'acide carbonique.

Si les graines avaient été parfaitement sèches comme dans

nos expériences, l'acide carbonique n'aurait pas nui à la conservation de la faculté germinative.

Dans son expérience déjà citée, Maquenne s'est mis à l'abri de cette critique. Après avoir desséché avec le vide et la baryte caustique, pendant une semaine, des grains de Blé, il les a laissés enfermés dans une ampoule de verre scellée munie d'un manomètre, sous l'action du vide de Hittorf, pendant 4 mois.

Ce vide ne s'est pas maintenu, il s'est élevé au bout de deux semaines de 1 millimètre pour ne plus subir après que des variations dues aux changements de la température ambiante et de la pression atmosphérique. S'il y a eu des gaz dégagés, ceux-ci ne doivent pas occuper, en raison de la petitesse de l'ampoule, un volume supérieur à 1/100 de centimètre cube. « Une semblable quantité doit être négligée. La respiration intracellulaire s'arrête donc dans le vide en même temps que la respiration normale. Sous l'influence de la seule dessiccation à basse température, la graine passe de l'état de vie ralentie à l'état de vie suspendue où toutes les fonctions végétatives cessent de s'accomplir. »

Dans cette Note si intéressante de Maquenne, nous n'avons aucune donnée sur la conservation du pouvoir germinatif des graines soumises à l'expérience (1).

J'ai refait cette expérience avec des graines de Pois en partie décortiquées, avec des grains de Blé dont le péricarpe avait été perforé près de l'écusson, enfin avec des graines de Luzerne et de Cresson alénois, ayant leur tégument également perforé. Auparavant ces graines avaient subi une forte dessiccation pendant 4 mois dans le vide avec la baryte caustique, à la température de 45°. Toutes ces graines avaient été placées dans une ampoule à deux tubulures étirées après à la flamme pour permettre une fermeture plus facile. J'ai réalisé le vide dans cette ampoule d'abord avec la machine pneumatique Carré, je l'ai parfait ensuite avec la trompe à mercure de Schlœsing jusqu'à ce que j'aie eu l'égalité de niveau la plus rigoureuse dans les deux branches du manomètre. A ce moment, j'ai scellé l'ampoule, je l'ai détachée de l'appareil et je l'ai placée

(1) Maquenne m'a affirmé, depuis, qu'ayant vérifié le pouvoir germinatif des grains de Blé, il l'avait trouvé identique à celui des grains témoins.

dans un tiroir à l'abri de l'obscurité où elle est restée deux ans. Les graines, que je viens de faire germer, ont toutes très bien levé.

Lorsque l'on sait que la durée de la faculté germinative de toutes ces graines est d'environ de 10 à 20 ans, après 4 mois, comme après 2 ans et même 7 ans d'expérience, il est bien difficile de se prononcer sur cette question : est-ce que dans le vide la vie a été parfaitement suspendue ?

Si, à l'heure actuelle, nous ne pouvons pas résoudre ce problème, *cependant, d'après les résultats de toutes les expériences précitées et qui ont porté sur la privation d'une atmosphère respirable par le vide, le mercure, l'azote, l'acide carbonique, on peut affirmer qu'il existe de nombreuses espèces de graines qui n'ont pas besoin d'air pour conserver leur faculté germinative.*

Dans les conditions que nous avons réalisées, nous sommes certains que tous les échanges gazeux ont été supprimés entre les cellules et le milieu extérieur.

Lorsque ces graines ont atteint, par suite de leur maturation naturelle, une certaine dessiccation, même à l'air libre, dès qu'elles absorbent une certaine quantité d'oxygène, et rejettent un certain volume d'acide carbonique, ces échanges gazeux sont la plupart du temps attribuables beaucoup plus à une simple oxydation chimique qu'à une véritable respiration.

Maintenant, dans l'intérieur des cellules, dans leur protoplasma et leur noyau, que se passe-t-il ? On ne peut pas le savoir. Seules, deux hypothèses subsistent, ou les phénomènes physico-chimiques de l'assimilation et de la désassimilation sont complètement arrêtés, ou ils continuent avec une extrême lenteur.

Si cette dernière hypothèse, qui est conforme à la loi de la continuité de tous les phénomènes vitaux, admise par la grande majorité des biologistes, était vraie, la vie latente de la graine ne pourrait plus être envisagée comme étant une *vie aérobie ralentie*, mais bien comme une *vie intracellulaire très ralentie rigoureusement anaérobie*.

CHAPITRE VII

**DÉSHYDRATATION DES GRAINES ET CONSERVATION
DE LEUR POUVOIR GERMINATIF**

Par toutes les expériences déjà décrites, nous savons que la déshydratation des graines a un retentissement considérable sur leur vie latente.

Or quelle est d'une manière générale la quantité d'eau contenue dans une graine mûre ? Quel est son véritable rôle dans sa vie latente ? Peut-on la retirer complètement sans porter atteinte à son pouvoir germinatif ? Enfin une graine parfaitement privée d'eau et de gaz respirables peut-elle conserver indéfiniment son pouvoir germinatif ? Telles sont les diverses questions que je m'en vais examiner.

§ 1. — Dessiccation naturelle.

Pendant leur maturation, la plupart des graines, quand elles passent de leur vie active à la vie latente, perdent une très grande quantité d'eau, jusqu'à ce que leur poids devienne à peu près stationnaire. Ce fait, connu depuis très longtemps, a été étudié pour quelques espèces par Van Tieghem et Gaston Bonnier, puis par Henri Coupin (1).

Van Tieghem et Gaston Bonnier ont trouvé, en opérant sur le Haricot, que 720 grammes de graines fraîchement cueillies perdaient, au bout de deux mois, 6 grammes. A partir de ce moment, il se révélait une très légère augmentation de poids inexpliquée.

Henri Coupin, en expérimentant probablement sur des graines d'une autre espèce de Haricot, a constaté qu'en l'espace d'une douzaine de jours la quantité d'eau perdue pouvait être beaucoup plus considérable, elle était de 51 p. 100 ; à ce moment, le poids de la graine devenait stationnaire.

Cette perte d'eau s'accomplissait même dans une atmosphère saturée, elle était beaucoup diminuée par l'action du chloro-

(1) H. Coupin, *L'absorption et le rejet de l'eau par les graines* (Thèse de doctorat, Masson, Paris, 1896).

forme. Pour ces raisons, l'auteur l'a attribuée à un phénomène vital, à celui de la transpiration, et non au simple phénomène physique de l'évaporation. Cependant il est curieux de remarquer qu'en expérimentant à l'air libre sur des graines de même espèce tuées par la chaleur, la même perte d'eau qu'avec des graines vivantes a été obtenue.

§ 2. — Hygroscopicité des graines.

Lorsque les graines ont atteint leur maximum de dessiccation naturelle à la fin de leur complète maturité, leur poids cependant ne reste pas invariable, il peut augmenter ou diminuer selon une certaine proportion. A quoi donc peuvent être dues les variations de poids mises en évidence par les expériences de Van Tieghem et Gaston Bonnier?

L'explication de ce fait a été apportée par les expériences de Victor Jodin (1). Il a démontré qu'il était dû à la faculté qu'ont les graines, d'absorber ou de rejeter une certaine quantité de vapeur d'eau en rapport direct avec le degré d'hygrométrie de l'atmosphère.

Ces recherches ont porté sur le Pois. En divisant la différence entre le poids de la graine humide et celui de la graine complètement sèche, Jodin obtient ce qu'il appelle l'hydratation de la graine, c'est-à-dire la quantité d'eau qui se trouvait unie à une partie de graine complètement sèche.

Dans son travail sur la germination publié aux *Annales Agronomiques*, il a donné un tableau très intéressant montrant aux différentes époques de l'année, les quantités d'eau unies à un gramme de la matière sèche, comparativement avec les degrés hygrométriques de l'atmosphère pour des graines mortes et pour des graines vivantes de Pois. Les Pois morts provenaient de vieilles graines âgées de 28 ans qui avaient perdu leur pouvoir germinatif sous la lente action du temps.

Il constata qu'il n'existait aucune différence caractéristique entre les Pois vifs et les Pois morts, relativement à leur affinité pour la vapeur d'eau de l'atmosphère.

(1) Van Tieghem et G. Bonnier, *Sur la vie latente des graines* (Bull. de la Soc. bot. de France, p. 25, 1882).

La proportion d'eau que contenaient ces graines a pu varier selon la température et l'état d'hygrométrie de l'atmosphère de 0^{gr},1 à 0^{gr},3 pour 2 grammes de graine complètement sèche.

Cette variation dans l'hydratation, due à un simple phénomène physique, insuffisante pour provoquer les phénomènes de la germination, « serait capable d'introduire des changements moléculaires qui avec le temps provoqueraient la mort des graines ».

Cette conception parfaitement justifiée de l'influence de l'hygrométrie de l'atmosphère, sur la proportion d'eau contenue par les graines et sur leur vieillissement, doit subir cependant quelques modifications.

La vapeur d'eau de l'atmosphère ne peut agir que sur les graines dont le tégument est perméable, ou qui, dans le cas contraire, laisse des issues telles que le hile et le micropyle, pour la pénétration des gaz et des vapeurs.

C'est là un cas extrêmement général, qui s'applique à un très grand nombre d'espèces de graines, et nous montre pourquoi, étant exposées aux variations de l'hygrométrie atmosphérique, elles perdent assez rapidement leur faculté germinative.

Mais, pour toutes les graines qui ont des téguments imperméables dans toutes leurs parties, et cela se rencontre dans de nombreuses espèces de Légumineuses, de Malvacées, de Cistinées, de Crucifères et même quelquefois dans les Labiées, l'humidité de l'atmosphère n'a aucune action. Elle se dépose sur la surface du tégument, mais elle ne pénètre pas dans l'intérieur, ce qui n'empêche pas que l'on puisse constater la variation du poids de la graine en raison de celle du degré hygrométrique.

Ce cas s'applique tout particulièrement à la graine de Pois étudiée par Jodin; en effet, lorsqu'elle est bien sèche, le hile et le micropyle du tégument ne laissent pas passer la vapeur d'eau.

Les expériences à l'air libre du laboratoire qui ont duré deux ans avec les tubes barométriques fermés par des téguments de Pois, de Lupin, de Fèvier, que j'ai décrits, ont prouvé que, pendant ce temps, l'imperméabilité de ces téguments n'a pas du tout été influencée par l'action de l'hygrométrie de l'atmosphère.

C'est là encore une des raisons les plus importantes, qui nous expliquerait pourquoi les graines munies de téguments imperméables sont toujours celles qui conservent la plus grande longévité.

Toutes les substances végétales, ainsi que l'a démontré de Saussure, sont très hygroscopiques.

Que le tégument soit imperméable ou perméable, que les parois de ses cellules soient recouvertes de cutine, de lignine ou de substance cireuse, il absorbe toujours une certaine quantité de vapeur d'eau atmosphérique.

Cette hygroscopicité peut être ou physique ou chimique.

Physique, si elle est due à la condensation de la vapeur d'eau par des parois froides lisses ou par des parois à pores capillaires très fins.

Chimique, si elle est produite par l'affinité de certaines substances pour l'eau.

Cette hygroscopicité a été très bien étudiée dans un mémoire de Leo Errera, auquel je renvoie ceux qui voudraient approfondir cette notion (1).

Par conséquent, pour les graines à tégument imperméable, il est absolument nécessaire de distinguer l'eau hygrométrique, qui peut varier, de l'eau qui se trouve enfermée dans les cellules de l'embryon et de l'albumen et qui est invariable, la seule qui joue un rôle dans les phénomènes de la vie latente de ces graines.

§ 3. — Dessiccation artificielle et conservation du pouvoir germinatif.

C'est par les différentes méthodes de la dessiccation artificielle que l'on est à même de connaître la quantité d'eau contenue dans les graines à l'état de vie latente.

Cette dessiccation peut s'opérer : 1° à l'étuve avec l'aide de la chaleur ; 2° dans le vide avec un desséchant et une douce chaleur.

Ces deux méthodes ne donnent pas du tout les mêmes résultats et sont de valeur très inégale.

(1) Leo Errera, Sur l'hygroscopicité, comme cause de l'action physiologique à distance (Rec. del'Inst. bot. Leo Errera, t. VI, p. 303, 1906).

Lorsque la dessiccation se fait à l'étuve sous l'action de la chaleur, on la considère comme achevée lorsque deux pesées faites à deux heures d'intervalle concordent à moins d'un demi-milligramme près. D'ordinaire on pratique cette dessiccation à la température de 110°, mais à cette température, pendant un certain temps, au moins pendant 24 heures, toutes les graines sont tuées.

C'est par ce procédé, le plus généralement adopté, qu'ont été obtenues la plupart des données classiques de la quantité d'eau que contiennent certaines espèces de graines.

On sait, d'après les analyses de Moride, que la proportion d'eau dans les graines mûres sèches est en moyenne d'environ 4 p. 100 ; elle s'élève au maximum à 8 p. 100 dans les graines de Ricin, et descend jusqu'à 0,90 p. 100 dans le Cresson alénois même, 0,50 p. 100 dans le Vêlar (1).

Si on ne veut pas tuer les graines, on peut opérer à des températures plus basses.

Van Tieghem et Gaston Bonnier ont pu dessécher jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de perte de poids, des grains de Blé qui sont restés six jours dans une étuve à glycérine d'une température constante de 80°. Ces grains de Blé ayant perdu 9,12 p. 100 d'eau ont tous parfaitement bien germé.

Mais lorsque l'on se sert de la température pour dessécher, il faut tenir compte de la remarque si judicieuse de Van Tieghem. C'est que « quand on a enlevé toute l'eau en desséchant indéfiniment les graines dans une étuve à une certaine température, on peut encore leur enlever de l'eau si on la dessèche dans une étuve qui a une température plus élevée. — Le temps d'action de la température joue aussi un rôle considérable sur le pouvoir germinatif des graines, si bien qu'il faut toujours dire : dessécher à telle température pendant tant de temps. »

C'est pour avoir négligé ces données qu'en matière de dessiccation et de poids sec, il y a tant de faits qui paraissent contradictoires.

Victor Jodin s'est occupé aussi de la dessiccation des graines .

(1) Duchartre, *Traité de botanique*, p. 137, Baillière, 1883.

par la température : ses recherches ont porté naturellement sur le Pois.

Il a constaté qu'à la température constante de 50° C., des Pois ont perdu 14 p. 100 d'eau. Au bout de 100 jours, à 70° les mêmes Pois ont subi la même perte d'eau en 8 jours.

Mais le procédé qui donne la plus forte dessiccation, c'est celui du vide avec un desséchant tel que l'acide sulfurique, l'anhydride phosphorique ou la baryte caustique.

Jodin a vu qu'après 132 jours de vide à la température ordinaire, la dessiccation n'était pas encore assez complète, elle ne le fut que 118 jours plus tard ; les graines avaient perdu 16,90 p. 100 de leur eau.

Maquenne, dans de nombreuses expériences, a démontré la supériorité de l'emploi du vide avec des desséchants sur celui de l'étuve à 110°. Les tubes contenant les graines où le vide avait été réalisé, étaient portés pendant toute la dessiccation à une température constante de 40°.

De cette manière Maquenne constata que lorsque la perte d'eau maxima à l'étuve pour le Panais était de 6,51 p. 100, dans le vide cette perte maxima descendait à 8,97 p. 100, au bout de 30 jours. Dans une note récente sur la dessiccation absolue des matières végétales, Maquenne est encore revenu sur ce sujet.

Il a établi par quelques expériences qu'une substance végétale maintenue à 110° ou même à 120° dans l'air ordinaire à l'étuve, jusqu'à ce que son poids demeure constant, contenait toujours une certaine dose d'humidité variable avec la température et l'état hygrométrique de l'air.

« Or cette dessiccation ne peut s'opérer d'une manière absolue que dans l'air sec, ou dans le vide sec à la température de 40° » (1).

J'ai entrepris également plusieurs expériences sur la dessiccation des graines, non seulement pour savoir si le tégument lorsqu'il était imperméable dans toutes ses parties ne jouait pas un rôle sur la dessiccation, mais encore pour connaître si la

(1) Maquenne, *Sur la dessiccation absolue des matières végétales* (C. R. Acad. des Sc., 1905).

dessiccation elle-même n'avait aucun effet sur le pouvoir germinatif des graines.

Voici le dispositif expérimental que j'ai adopté : j'ai placé des lots de graines soigneusement pesées dans des petits tubes fermés par un bouchon de ouate (1). Ces petits tubes furent introduits dans un ballon de verre renfermant de la baryte caustique anhydre. Un bouchon de liège percé de trois trous par où passaient le tube d'un manomètre à mercure et deux tubes de verre coudés était enfoncé très profondément dans le col du ballon de telle manière que l'on puisse verser une épaisse couche de cire fondue pour assurer une fermeture parfaite.

Les deux tubes de verre coudés étaient légèrement étirés à leur extrémité. L'appareil étant ainsi disposé, je le faisais communiquer à l'aide d'un fort caoutchouc à vide à l'intérieur bien suiffé, d'un côté avec la trompe à mercure, de l'autre avec la machine Carré. Avec la machine Carré je faisais très rapidement le plus grand vide possible dans le récipient et dans la trompe à mercure, puis je fermais le tube de verre qui assurait la communication avec la flamme d'un bec Bunsen et je le détachais de la machine.

Je terminais ensuite le vide avec la trompe à mercure, puis je scellais le tube de verre de communication et je retirais mon ballon que je plaçais dans une étuve à la température constante de 45°.

Lorsque, au bout de 4 mois, le manomètre m'eut indiqué par la constance du niveau du mercure que le dégagement des gaz et l'absorption de la vapeur d'eau fussent arrêtés, j'ai enlevé les tubes contenant les graines de l'intérieur du ballon ; je les ai pesées de nouveau et mises à germer.

(1) Dans ces sortes d'expériences, le tampon de ouate obturant les tubes qui contiennent les graines au tégument perforé est absolument nécessaire, car la baryte anhydre se résolvant en poussière entre dans l'intérieur des pores des cotylédons et a un effet nuisible sur la germination.

Quatre mois de dessiccation à 45° avec l'aide du vide et la baryte caustique anhydre.

ESPÈCE.	POIDS INITIAL.	POIDS FINAL.	PERTE D'EAU. p. 100.	POUVOIR GERMINATIF.
	gr.	gr.	gr.	p. 100.
Pois à tégument intact....	15,004	13,365	10,92	99
Pois à tégument perforé....	15,0	12,825	14,50	98
Lupin à tégument intact...	10,03	9,161	8,66	95
Lupin à tégument perforé..	10,018	9,0	10,16	60
Courge à tégument intact...	12,026	11,450	4,73	100
Courge à tégument perforé.	11,960	10,870	9,10	100
Lupin polyphylle	5,0	4,580	8,40	95
Luzerne.....	10,0	9,276	7,24	100
Pavot gris.....	5,0	4,675	6,50	60
Cerfeuil.....	5,0	4,410	11,80	80
Carotte.....	5,0	4,595	8,10	80
Navet.....	5,0	4,680	6,40	100
Haricot.....	10,023	9,0	10,02	90

Six mois de dessiccation à 45° avec l'aide du vide et de la baryte caustique anhydre.

ESPÈCE.	POIDS INITIAL.	POIDS FINAL.	PERTE D'EAU. p. 100.	POUVOIR GERMINATIF.
	gr.	gr.	gr.	p. 100.
Fève.....	19,985	15,510	22,38	5
Ricin.....	9,925	9,362	5,68	99
Pois décortiqués.....	10,013	8,530	14,80	95
Moutarde.....	5,0	4,620	7,60	100
Blé.....	5,003	4,392	12,22	98
Pissenlit.....	1,998	1,840	6,46	50
Sarrasin.....	5,0	4,347	13,06	100

Ces tableaux montrent :

1° *Que pour les graines à tégument imperméable, telles que le Pois, le Lupin, la Courge, le tégument empêche la sortie de toute une partie de l'eau contenue dans l'intérieur des cotylédons et de la plantule.*

Par conséquent, si l'on tient à dessécher d'une façon extrêmement rigoureuse des graines à tégument imperméable, il est de toute nécessité de perforer le tégument.

Sans cette précaution, la quantité d'eau retirée des graines par la dessiccation n'est pas autre que celle disposée à la surface du tégument, ou dans ses parties poreuses, provenant de l'hygrométrie atmosphérique.

Le tégument, ainsi que l'avait remarqué M. Henri Coupin, est dans beaucoup de graines une des parties qui contient et rejette le plus d'eau. Dans le vide, sous l'action d'une douce chaleur, il est peut-être possible qu'une certaine quantité d'eau des cotylédons puisse traverser le tégument, mais cette quantité doit être bien minime, car lorsque le tégument a atteint un certain degré de dessiccation il ne laisse plus rien passer. Lorsque le tégument n'est pas trop épais, comme celui du caryopse du Blé, il peut à la longue se laisser traverser par les vapeurs, mais ce passage doit se faire avec une extrême lenteur.

Pour le cas du Pois, il faut remarquer qu'assez fréquemment, 2 fois sur 10, le hile incomplètement fermé joue le rôle d'une perforation naturelle.

2° *La dessiccation retentit sur le pouvoir germinatif de certaines espèces, telles que le Lupin, le Haricot, la Fève, mais n'a aucun effet sur le Blé, le Pois, le Ricin, la Luzerne, la Courge, le Navet, la Moutarde, le Sarrasin.*

Je ne sais pas si cette action destructive est due plus à la dessiccation qu'à l'influence de la chaleur, cependant très basse; il se peut que non seulement l'eau d'imbibition soit enlevée, mais encore toute une partie de l'eau de combinaison, ce qui aurait pu produire une désorganisation de la substance protoplasmique et des réserves.

Il y a un très grand nombre d'espèces de graines, qui sont citées comme ne supportant pas la dessiccation.

Les graines de Renoncule, d'Oxalide, de Dictamne, de Fraxinelle, de nombreuses Ombellifères, de la plupart des Myrtacées et des Lauracées, perdraient très rapidement leur pouvoir germinatif sous l'action de la dessiccation naturelle, mais cela peut être aussi bien dû à l'oxydation et à l'évaporation de leurs principes essentiels. Des graines de nombreuses espèces d'arbres, telles que celles des Saules, des Peupliers, des Érables, rentre-raient dans ce cas. Toutes ces graines sont depuis très longtemps bien connues des jardiniers et des grainetiers, qui les conservent en les stratifiant dans du sable frais.

Mais pour de très nombreuses espèces de graines, il est incontestable que la déshydratation prolonge leur faculté germinative.

Ainsi des graines de Panais, desséchées dans le vide avec de la baryte caustique anhydre et conservées dans des ampoules où le vide le plus parfait avait été réalisé, ont, après deux ans, gardé le même taux germinatif qu'au début de l'expérience, alors que toutes les graines témoins étaient mortes (1).

3° *Par ces expériences, il est aussi démontré, qu'avec les moyens les plus puissants de dessiccation dont nous disposons, des graines peuvent être desséchées sans être tuées jusqu'à ce que leur poids devienne constant.*

Or, c'est là une notion très discutée et qui se trouve méconnue dans plusieurs traités classiques (2).

Dans ce cas de l'action prolongée de la déshydratation, la graine a-t-elle vraiment perdu toute son eau, tous ses gaz ? C'est un point délicat qui peut toujours être contesté.

Si par l'analyse spectrale, et par l'examen du niveau du mercure du manomètre, à l'aide d'un cathétomètre, on est certain que dans l'ampoule il ne se dégage plus ni gaz, ni vapeur d'eau, que toutes les cellules des graines, avec leurs faisceaux libéro-ligneux et leurs méats intercellulaires sont environnées d'un vide rigoureux, on ne peut pas savoir ce qui se passe à l'intérieur des cellules, dans le protoplasma et le noyau. La membrane cellulaire, lorsqu'elle a atteint une certaine dessiccation, pourrait être aussi imperméable que le tégument qui ferme l'extrémité de la chambre barométrique d'un de nos tubes de verre plein de mercure retourné sur la cuve.

§ 4. — La déshydratation et l'explication de la vie latente.

Claude Bernard a bien défini le rôle de la déshydratation sur les êtres vivants (3).

La condition principale que doit remplir un organisme pour tomber en vie latente, c'est la dessiccation, « car la dessiccation a pour conséquence immédiate de faire disparaître les phénomènes de destruction organique, c'est-à-dire les manifestations

(1) Maquenne, *Sur la conservation du pouvoir germinatif des graines* (C. R., CXXXV, p. 209, 1902).

(2) Notamment, *Physiologie végétale* de Belzung, p. 936. Alcan, 1900.

(3) Cl. Bernard, *Explication de la vie latente. Leçons sur les phénomènes de la vie*, p. 97.

fonctionnelles de l'être vivant ; il en est de même des autres conditions qui produisent la vie latente. Les propriétés physiques des tissus, leur élasticité, leur densité sont d'abord modifiées par un degré de dessiccation de la substance organisée poussée assez loin. Viennent aussi les phénomènes chimiques de la destruction vitale dont l'action se trouve arrêtée par le fait de la dessiccation, car les agents de ces phénomènes, les ferments, en se desséchant deviennent inertes.

« La dessiccation amène donc la suppression de la destruction vitale en faisant disparaître les propriétés physiques et chimiques des tissus. La création vitale s'arrête alors, elle aussi, dans les cellules desséchées. En un mot, la vie considérée sous ses deux faces est suspendue, l'organisme est en état d'indifférence chimique, il est inerte, il y a arrêt de la vie ou vie latente.

« Le réveil de l'être plongé dans l'état de vie latente, son retour à la vie manifestée s'explique tout aussi simplement, c'est d'abord, avec l'hydratation, la destruction vitale qui redevient possible par le retour des phénomènes physiques et chimiques, puis la vie créatrice reparaît à son tour lorsque l'animal reprend des aliments. »

Ces paroles de Claude Bernard, parfaitement vraies dans leur ensemble ont, d'après les faits nouveaux que nous connaissons, besoin d'une légère retouche.

Il est évident que la dessiccation modifie profondément les propriétés physico-chimique des tissus.

C'est elle qui permet à l'albumine, et aux diastases de pouvoir résister à des températures de 100 à 120° et de ne pas se laisser congeler par des froids rigoureux. C'est elle qui explique le ralentissement extrême de tous les phénomènes physico-chimiques. Mais aussi, lorsque l'on sait l'influence considérable qu'elle peut avoir sur la perméabilité des membranes cellulaires qu'elle restreint considérablement, qu'elle peut même rigoureusement supprimer, ainsi que je l'ai remarqué plus haut, on ne peut plus être aussi affirmatif au sujet de ce qui se passe dans l'intérieur de la cellule, car on n'est pas certain de la parfaite dessiccation de son noyau et de son protoplasma

§ 5. — **Le protoplasma desséché est-il stable dans le vide ?**

Pour lever tous les doutes, pour résoudre ce problème si intéressant de la nature de la vie latente, nous n'avons plus qu'une ressource, c'est de savoir si le protoplasma desséché peut être d'une stabilité indéfinie dans le vide ou dans les gaz inertes. Le temps seul, avons-nous déjà dit, peut répondre à une pareille question.

Après deux ans de séjour dans un vide très rigoureux, nous savons que des graines de Pois, de Blé, de Luzerne, de Cresson, au tégument perforé, ont parfaitement bien conservé leur pouvoir germinatif. Mais si on avait prolongé plus longtemps cette expérience, que se serait-il passé ?

Pour n'avoir pas besoin de casser les ampoules, pour faire l'analyse spectrale des gaz de leur milieu intérieur, j'ai adopté une forme spéciale. C'est une ampoule cylindrique munie à chaque extrémité d'un tube de verre. L'un est droit et sert à l'introduction des graines, l'autre coudé à angle droit. Ce dernier est fermé à son extrémité et possède deux électrodes de platine séparées par un étranglement de verre pour permettre un examen plus facile de l'étincelle électrique.

Dans plusieurs de ces ampoules de verre j'ai introduit des graines sèches de Sarrasin et de Blé, dont le tégument a été perforé, et avec le précieux concours de M. Pérot, directeur du Laboratoire d'essai de physique aux Arts et Métiers, j'ai réalisé à leur intérieur le vide le plus parfait que l'on puisse actuellement produire. Ces ampoules mises à l'obscurité seront, dans la suite, examinées au spectroscopie tous les dix ans, et *s'il ne se produit aucun dégagement gazeux et aucune perte du pouvoir germinatif, nous aurons la preuve que le protoplasma se maintient stable dans le vide, tout en conservant la faculté de revivre.*

Si jamais dans ces conditions le protoplasma possède cette propriété, ce sera un fait doublement important pour la Biologie végétale, non seulement parce qu'il sera démontré d'une façon indiscutable que la vie peut être parfaitement suspendue dans le protoplasma, mais surtout parce que par ce procédé on pourra soustraire à l'action de l'évolution pendant autant de

siècles que l'on voudra, certaines espèces végétales et les transmettre à nos successeurs, comme des témoins, comme des termes de comparaison, pour déterminer dans ces espèces la marche de l'évolution.

Au contraire, si le protoplasma se décompose lentement dans le vide et je le redoute fort, il sera impossible de savoir si la vie peut être arrêtée dans le protoplasma desséché, et la nature de la vie latente restera une perpétuelle énigme, comme certains problèmes dont on ne pourra jamais donner la solution, parce qu'arrivés à ce point nous atteignons l'extrême limite de notre investigation scientifique.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

I. — LES DEUX THÈSES DE LA VIE LATENTE.

Avant nos recherches, deux doctrines rivales semblaient, avec un égal succès, donner une explication de la vie latente des graines. La première, s'appuyant sur ce fait, que les échanges gazeux paraissent supprimés, dans de nombreuses expériences où les graines peuvent séjourner longtemps dans l'alcool absolu, l'éther, le chloroforme, dans des milieux irrespirables tels que l'azote, l'hydrogène, l'oxyde de carbone, le mercure et dans le vide le plus rigoureux, admet que la vie latente est une vie parfaitement suspendue.

La graine est alors dans un état de complète inertie, tous les phénomènes d'échange, de matière et de transformation d'énergie sont arrêtés dans le protoplasma et le noyau de toutes les cellules de l'embryon.

La seconde doctrine, se basant sur ce qu'aucune graine ne peut séjourner très longtemps dans l'air sans absorber une certaine quantité d'oxygène et rejeter de l'acide carbonique, voit dans ces échanges gazeux une véritable respiration très ralentie. Elle pense que si les phénomènes physico-chimiques de l'assimilation et de la désassimilation s'atténuent considérablement, ils ne peuvent jamais être supprimés. « Cet arrêt serait contraire aux notions acquises relativement à la perpétuité du protoplasma et à la durée limitée de l'élément vivant » (1).

(1) Dastre, *La vie et la mort*, p. 227. Flammarion, Paris, 1906.

L'antagonisme entre ces deux doctrines ne proviendrait-il pas d'une erreur d'interprétation des résultats expérimentaux, introduite par les propriétés du tégument des graines que l'on aurait négligées ?

Telle est l'idée directrice qui a présidé à toutes mes recherches.

II. — L'IMPERMÉABILITÉ DES TÉGUMENTS DES GRAINES DE QUELQUES ESPÈCES.

Par mes expériences, réalisées avec un appareil d'une grande simplicité, une espèce de baromètre terminé par le tégument à étudier, j'ai alors démontré :

1° Que le tégument du Lupin, du Pois, du Févier, lorsqu'il a atteint une certaine dessiccation, est imperméable à l'air sec dans toutes ses parties, même dans celle qui possède le hile et le micropyle.

Le tégument des mêmes espèces de graines, exposé à l'air du laboratoire et dans de l'air sec confiné pendant deux ans, n'a subi aucune action de l'hygrométrie de l'atmosphère, il a conservé sa parfaite imperméabilité.

2° Le tégument de ces graines, soumis à l'action d'une atmosphère saturée de vapeur d'eau, arrive à la longue à s'imbibler et à laisser passer les gaz selon les lois physiques de la diffusion.

Le Févier seul a fait exception à la règle.

Or, un an après mes recherches, Joseph Gola a découvert un très grand nombre de graines appartenant aux Légumineuses. Malvacées et Cistinées, qui ne se gonflent pas dans l'eau, même au bout de trois mois d'immersion. On doit citer, parmi les graines au tégument imperméable à l'air, des Crucifères dont le tégument contient une couche de cellules à mucilage desséché, tels que le Cresson alénois, la Moutarde, parmi les graines au *tégument imperméable même à l'eau*, le Trèfle, la Luzerne, l'Acacie, le Févier, l'Astragale, etc.

3° Tous les cotylédons desséchés des graines de Lupin, de Pois, de Févier sont poreux : le passage des gaz se fait immédiatement à leur intérieur, selon les lois physiques de l'effusion.

Comme dans toutes les expériences exécutées avec les graines

de Luzerne, de Trèfle, de Moutarde, de Pois, de Lupin pour connaître l'influence des milieux irrespirables, on n'a pas tenu compte de cette imperméabilité produite par la dessiccation qui empêchait l'embryon d'être privé de son milieu vital interne, et d'être en contact avec les substances expérimentées, toutes les conclusions relatives à la suspension de la vie chez ces graines s'écroulent.

Il fallait donc refaire ces expériences, en perforant le tégument de ces graines ou en les décortiquant.

III. — L'ACTION DE L'ALCOOL, DE L'ÉTHÉR ET DU CHLOROFORME SUR LES GRAINES.

J'ai alors constaté que les graines ne résistent à l'action de l'alcool absolu que lorsque le tégument est imperméable et intact. Les mêmes graines imbibées d'eau, ou au tégument perforé, telles que le Pois, le Lupin, la Luzerne, le Trèfle, le Févier, le Blé, sont tuées presque immédiatement par l'alcool absolu.

Il en est de même pour l'action de l'éther et du chloroforme à l'état de vapeur et à l'état liquide. Des graines de Pois, de Lupin blanc, de Trèfle et de Luzerne, lorsqu'elles ont un tégument intact bien desséché, peuvent rester dans ces liquides et dans ces vapeurs sans perdre leur pouvoir germinatif; mais si ce tégument est perforé ou humidifié, ces vapeurs et ces liquides pénètrent dans le protoplasma et le noyau des cellules de l'embryon, dissolvent les matières grasses, et commencent à altérer les substances albuminoïdes.

IV. — L'ACTION DES BASSES TEMPÉRATURES.

L'action des basses températures sur les graines a été aussi étudiée. Il était intéressant de savoir, comment des graines décortiquées, ou encore à l'état de vie ralentie, pourraient se comporter. De l'ensemble de nos résultats se sont dégagées les conclusions suivantes :

1° Pour qu'une graine puisse résister à l'action de l'air liquide dont la température est de -190° , il faut qu'elle soit à l'état de vie latente;

2° La décortication, qui permet à l'air liquide de pénétrer dans l'intérieur des cotylédons et d'entourer toutes les cellules de la plantule, n'a aucun effet appréciable sur le pouvoir germinatif de la graine.

3° La résistance des graines à l'état de vie latente aux basses températures dépend uniquement de la quantité d'eau et de gaz que renferment les tissus; si cette quantité de gaz est suffisante, le froid désorganise le protoplasma et le noyau et rend impossible tout retour à la vie.

Mais si le protoplasma a atteint déjà par la dessiccation son maximum de concentration et par là même son minimum d'activité, il échappe complètement à l'action des basses températures, il ne gèle pas et la graine conserve son pouvoir germinatif comme par le passé.

4° On ne peut pas non plus se baser sur la résistance des graines à l'action des basses températures pour affirmer que tous les phénomènes physico-chimiques de la vie sont complètement arrêtés; on n'en sait rien.

L'affirmation de Pictet, qu'à — 100° tous les phénomènes chimiques sans exception sont anéantis, est à reviser entièrement, car même à — 210°, il peut y avoir encore des combinaisons chimiques, des dégagements de chaleur, des phénomènes de phosphorescence.

V. — LA LONGÉVITÉ DES GRAINES.

La nature ne nous présente aucun cas de longévité indéfinie de la part des graines.

Toutes les recherches les plus sérieuses qui ont été faites avec un rigoureux esprit critique, nous ont prouvé que l'on ne doit tenir aucun compte de la longévité des grains de Blé qui proviennent des sépultures des anciens Pharaons et des greniers de César d'Argovie et d'Herculanum.

Il en est de même pour les graines signalées par Charles Desmoulins et qui ont été récoltées dans des tombeaux mérovingiens.

On ne doit pas non plus ajouter foi aux cas d'enfouissement de nombreuses espèces de graines, pendant des milliers d'années

et même moins d'un siècle, cités par de très nombreux observateurs, pour la raison bien simple que la plupart de ces observateurs ignorent complètement la date d'arrivée de ces graines et leur mode d'apport.

Seules, des expériences portant sur des espèces dont on connaît l'âge de la récolte ou la date d'arrivée dans le laboratoire, peuvent apporter des données acceptables.

Les recherches que j'ai réalisées sur 500 espèces de vieilles graines de la graineterie du Muséum d'histoire naturelle, dont la date d'arrivée rigoureusement contrôlée variait entre 25 et 136 ans, ont fourni les résultats suivants. Quatre familles ont présenté des germinations : les Légumineuses, les Nélombiées, les Malvacées et les Labiées. Vingt de ces germinations avaient de 28 à 87 ans. Les plus âgées parmi les Légumineuses furent *Cassia bicapsularis* de 1819, *Cytisus biflorus* de 1822, *Leucæna leucocephala* de 1835, *Trifolium arvense* de 1838 ; parmi les Nélombiées, le *Nelumbium codophyllum* de 1850 ; une Malvacée, le *Lavatera pseudoolbia* de 1842 ; et une Labiée, le *Stachys nepetæfolia* de 1829.

Toutes les graines qui, après plus de 50 à 80 ans, ont germé étaient revêtues d'un tégument très épais et dont l'imperméabilité absolue a été vérifiée pour le *Cassia bicapsularis*, le *Leucæna leucocephala* et le *Nelumbium codophyllum*.

Cette imperméabilité aux gaz de toutes les parties du tégument nous apporte sur la vie latente des graines un résultat très important.

C'est en effet la première fois que l'on constate que des graines ont pu conserver leur pouvoir germinatif depuis l'époque de la Restauration jusqu'à nos jours, sans que leur embryon ait réalisé des échanges gazeux avec l'atmosphère.

Ainsi, la longévité des graines paraîtrait être en relation directe avec l'imperméabilité de leur tégument.

VI. — LES ÉCHANGES GAZEUX DES GRAINES.

Ici nous touchons au point le plus important de la vie latente des graines. Comment se font leurs échanges gazeux ? Quelle est leur nature ? Pourquoi les résultats obtenus à ce sujet sont-ils si

contradictaires? Le tégument des graines, leur degré d'hydratation, la lumière, n'auraient-ils pas apporté des éléments qui auraient troublé l'interprétation des résultats?

Les expériences que j'ai réalisées sur le Pois, le Ricin, la Fève, le Lupin décortiqués et sur leur tégument séparé, comparativement à l'obscurité et à la lumière, ont montré le rôle très considérable qu'ont joué tous ces facteurs.

A. *Obscurité*. — 1° A l'obscurité, au bout d'un temps suffisamment long, au moins un an, toutes les graines dans leur état de dessiccation naturelle, en présence de l'air ordinaire qui renferme toujours une certaine quantité de vapeur d'eau, dégagent des traces minimales d'acide carbonique et absorbent un certain volume d'oxygène.

2° L'intensité de ces échanges gazeux et les proportions dans lesquelles ils se font, dépendent de la nature de la graine et de son espèce.

3° Ces échanges gazeux ne se font pas qu'au début des expériences, qu'au moment du passage de la vie ralentie à la vie latente, ainsi que l'avait objecté, pour les expériences de Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier, Casimir de Candolle; mais bien pendant toute la durée de la vie latente de la graine.

Sur ce point, nos résultats confirment entièrement ceux de Ph. Van Tieghem et Gaston Bonnier.

B. *La lumière*. — 1° La lumière augmente considérablement l'intensité des échanges gazeux des graines.

2° La proportion selon laquelle augmente cette intensité des échanges gazeux dépend de l'espèce de la graine.

3° La lumière fait varier, dans une même espèce et pour le même poids de graine, le quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$ obtenu à l'obscurité.

Elle l'augmente où elle l'abaisse selon les espèces.

Cette augmentation de l'intensité des échanges gazeux et cette variation du quotient $\frac{\text{CO}^2}{\text{O}}$, produites sous l'action de la lumière, sont des phénomènes tout à faits caractéristiques de la vie latente des graines, car ils ne se rencontrent jamais dans les échanges gazeux des tissus sans chlorophylle, à l'état de vie active.

4° La lumière, en présence de l'oxygène, décomposant lentement les substances hydrocarbonées de la graine, au bout d'un temps plus ou moins long, porte atteinte à son pouvoir germinatif.

5° Les rayons qui agissent sur les graines sont les rayons les plus réfrangibles du spectre, qui appartiennent au bleu, violet et ultra-violet.

C. *Le tégument*. — 1° Tous les téguments isolés des lots respectifs des graines décortiquées, à l'obscurité comme à la lumière, ont dégagé et absorbé de grandes quantités de gaz.

À l'obscurité, pendant que le lot de Ricins décortiqués n'avait aucunement modifié son atmosphère confinée, le lot de leurs téguments avait dégagé 1,61 p. 100 d'acide carbonique et a abaissé la quantité normale d'oxygène de 21 p. 100 à 15 p. 100.

Si l'on prenait dans ce cas ces échanges gazeux pour une véritable respiration, on arriverait à cette constatation paradoxale, c'est que les téguments, constitués de tissus morts, respireraient, pendant que la plantule avec son albumen ayant conservé son pouvoir germinatif, n'ayant absorbé ni dégagé la moindre parcelle de gaz, serait morte.

À la lumière, les échanges gazeux des téguments des mêmes lots ont été beaucoup plus considérables.

2° Les échanges gazeux des téguments, comparés avec les échanges gazeux des graines décortiquées dont ils proviennent, sont fréquemment, pour le même poids de substance, infiniment plus grands.

3° Les échanges gazeux des lots de téguments isolés, comparés avec les échanges gazeux des lots de graines de même espèce munies d'un tégument imperméable, sont, à quelques chiffres décimaux près, absolument les mêmes. Si bien qu'il est ainsi prouvé expérimentalement que toutes les recherches qui ont été faites avant nous sur des graines non décortiquées, telles que le Pois, le Lupin, la Vesce, la Luzerne, etc..., n'ont mis en évidence que les échanges gazeux des téguments protecteurs. Les conclusions que l'on en a tirées pour la respiration de l'ensemble de la graine ne peuvent plus être maintenues.

4° Pour les graines qui possèdent un tégument perméable, les

échanges gazeux de l'embryon et des cotylédons s'ajoutent à ceux du tégument.

5° Le rôle biologique du tégument, qui protège la graine contre l'oxydation atmosphérique, est nettement mis en évidence par ces expériences et l'on conçoit pourquoi les graines à tégument imperméable sont celles qui conservent le plus longtemps leur pouvoir germinatif.

D. *La déshydratation.* — L'air ne peut agir que s'il est chargé d'une quantité intime de vapeur d'eau et si le protoplasma des graines contient encore une certaine proportion d'eau.

Ainsi, la déshydratation, pour certaines graines décortiquées, telles que la Courge, le Ricin, le Pois et la Fève réduit tellement leurs échanges gazeux qu'il est presque impossible, au bout d'un temps très long, de déceler le moindre dégagement d'acide carbonique.

VII. — LA NATURE DES ÉCHANGES GAZEUX DES GRAINES.

Les échanges gazeux que l'on peut mettre en évidence dans les graines à tégument imperméable non perforé, sont certainement le résultat d'une simple oxydation chimique.

Dans le cas très général des graines au tégument perméable ou au hile et au micropyle ouverts, les échanges gazeux proviennent en partie de l'oxydation de leur tégument, en partie des échanges gazeux de leur embryon.

Or, les échanges gazeux de l'embryon, indépendamment de ceux de son tégument, sont-ils dus à une véritable respiration, à une action vitale?

Pour le savoir, j'ai rendu impossible cette respiration de l'embryon en le privant de son atmosphère interne et en le mettant en contact direct avec des milieux irrespirables. Voici les résultats obtenus : 1° des graines sèches, au tégument perforé, de Pois, de Blé, de Ricin, de Fève ont pu rester à l'obscurité un an dans une atmosphère d'azote sans dégager la moindre trace d'acide carbonique et sans perdre leur pouvoir germinatif.

2° Des graines sèches au tégument perforé de Lupin, de Luzerne, de Pois, de Trèfle, de Moutarde, de Courge, de Sarrasin, de Pin pignon, de Blé, d'Avoine ont été maintenues un an

dans l'acide carbonique pur et sec sans éprouver aucun dommage.

3° Des graines de Pois, au tégument perforé, privées de leur atmosphère interne sont restées un an sous le mercure et ont parfaitement bien levé après.

4° Des graines déshydratées et au tégument perforé, de Cresson alénois, de Luzerne, de Blé, de Pois ont séjourné dans le vide pendant deux ans. à l'intérieur d'une ampoule de verre placée à l'obscurité. Elles ont fort bien germé.

Ces résultats, qui concordent tous, montrent qu'à l'air libre les échanges gazeux de la plantule sèche sont attribuables à une simple oxydation chimique, puisque sans porter atteinte au pouvoir germinatif, on peut supprimer tous les échanges gazeux entre les cellules et l'atmosphère.

VIII. — LA DÉSHYDRATATION DES GRAINES ET LA CONSERVATION INDÉFINIE DE LEUR POUVOIR GERMINATIF.

La perte du pouvoir germinatif des graines est-elle causée par la lente décomposition des substances de réserve, et des matières protoplasmiques, sous l'action de l'eau et de l'air?

L'hygroscopicité des graines, c'est-à-dire la propriété qu'elles ont d'absorber et de rejeter une certaine quantité de vapeur d'eau en rapport direct avec le degré de l'hygrométrie de l'atmosphère, introduit avec le temps des changements moléculaires qui provoquent leur mort.

Cette hygroscopicité, d'après nos recherches, ne peut influencer que sur les graines qui ont un tégument perméable ou qui, dans le cas contraire, présentent des issues, telles que le hile et le micropyle, laissant passer les vapeurs et les gaz.

C'est là encore une des raisons pour que les graines qui ont la plus grande longévité se rencontrent parmi celles ayant un tégument d'une imperméabilité absolue.

La dessiccation la plus rigoureuse des graines que l'on puisse réaliser actuellement, consiste à opérer dans le vide avec de la baryte caustique anhydre pendant au moins trois mois à une température de 45°.

Lorsque l'on dessèche des graines ayant un tégument imperméable, il faut toujours le perforer auparavant.

Avec ce procédé de déshydratation, le plus puissant dont nous disposions, les graines de certaines espèces peuvent être desséchées sans être tuées jusqu'à ce que leur poids devienne constant.

Lorsqu'une graine est complètement sèche et qu'il ne se produit plus aucun dégagement gazeux dans le vide, il n'y a que deux hypothèses pour expliquer la nature de sa vie latente. La première, c'est que les membranes cellulaires sont devenues complètement imperméables et que derrière leur paroi les phénomènes physico-chimiques d'une *vie anaérobie* se continuent avec une extrême lenteur dans le protoplasma et le noyau avec l'aide de leurs réserves, qu'ils décomposent à la longue.

La seconde hypothèse, c'est que, dans ce cas, toutes les cellules de la graine sont véritablement privées d'eau et de gaz, et que tous les phénomènes de l'assimilation et de la désassimilation protoplasmique sont complètement suspendus.

Vie anaérobie intracellulaire très ralentie ou vie suspendue sont les seules explications possibles résultant de nos recherches, que l'on peut donner de la vie latente des graines desséchées de beaucoup d'espèces de Phanérogames.

Si le protoplasma desséché des cellules peut rester indéfiniment stable dans le vide, tout en conservant sa faculté de revivre, ce que l'avenir nous dira, nous saurons alors, laquelle des deux solutions est la vraie.

Sinon, le problème de la vie latente ne pourra jamais être résolu définitivement, et les esprits, selon leurs idées, philosophiques, pourront toujours choisir avec d'égales raisons entre ces deux opinions.

BIBLIOGRAPHIE

1. BARTHÉLEMY, Sur le passage des gaz à travers les membranes végétales. *C. R. Acad. des Sc.*, 1868, et *Ann. des Sc. nat.*, IX, p. 292.
2. BERNARD (Cl.), Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux, 1878-1879.
3. BEAL, Vitality of Seed. *Experiment Station Record*, t. VI, n° 7, 1895, et *Bot. Gaz.*, XL, p. 140-143.
4. BECQUEREL (Edmond), La lumière, ses causes et ses effets. Firmin Didot, 1867.
5. BECQUEREL (Henri), Recherches sur une propriété nouvelle de la matière. Gauthier-Villars, 1903.
6. BECQUEREL (Paul), Résistance de certaines graines à l'action de l'alcool absolu. *C. R. Acad. des Sc.*, 10 avril 1904.
7. Id., Imperméabilité de certains téguments aux gaz de l'atmosphère. *C. R. Acad. des Sc.*, 30 mai 1904.
8. Id., Sur l'extraction totale des gaz et de l'eau des graines. *C. R. Acad. des Sc.*, 27 juin 1904.
9. Id., Action de l'éther et du chloroforme sur le protoplasma desséché des graines en vie latente. *C. R. Acad. des Sc.*, 10 avril 1905.
10. Id., Action de l'air liquide sur des graines décortiquées. *C. R. Acad. des Sc.*, 19 juin 1905.
11. Id., Influence de l'acide carbonique sur les graines en vie latente. *C. R. Acad. des Sc.*, 6 avril 1906.
12. Id., Recherches sur la longévité de 500 espèces de graines âgées de vingt-cinq à cent cinquante ans. *C. R. Acad. des Sc.*, 25 juin 1906.
13. Sur les échanges gazeux de plusieurs espèces de graines à l'état de vie latente. *C. R. Acad. des Sc.*, 10 décembre 1906.
14. Id., Sur la véritable nature de la vie latente des graines. *C. R. Acad. des Sc.*, 24 décembre 1906.
15. BONNIER (G.) et MANGIN, Sur la respiration des végétaux sans chlorophylle. *C. R. Acad. des Sc.*, t. CXIX, n° 3, p. 161.
16. BROCA (P.), Rapport sur la reviviscence des animaux desséchés. *Mém. de la Soc. de biol.*, 1861.
17. BROWN et ESCOMBE, The influence of low temperature upon the germinative power of seeds. *Proc. Roy. Soc.*, LXII, 160, 1897.
18. BRANDZA, Recherches anatomiques sur les téguments des graines. *Revue gén. de Bot.*, t. III, 1894.
19. BURGENSEIN, Beobachtungen über die Keimkraftdauer. *Verhandl. zool. Bot. Gep. Wien*, p. 414, 1893.
20. CANDOLLE (A. de), Sur la durée relative de la faculté des germes. *Ann. des Sc. nat.*, 3^e série, t. VI, p. 373, 1846.
21. CANDOLLE (Casimir de) et PICTET, Influence du froid sur les graines. *Arch. expér. des Sc. phys. et nat.*, t. II, p. 354 et 629, 1879; t. XI, p. 323, 1884; t. XXX, p. 293, 1893.
22. CANDOLLE (Casimir de), Sur la vie latente des graines. *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, t. XXXIII, p. 497, 1893.
23. CHEVREUL, Sur la dessiccation de l'albumine. *Mém. du Mus. d'Hist. nat.*, t. XIII. Paris, 1819.

24. CHAPUIS (P.), Einfluss der Kohlensäure auf das Wachstum Flora, XCL, p. 348-383.
25. COUPIN (H.), Sur l'absorption et le rejet de l'eau par les graines. *Th. de doctorat*. Paris, Masson, 1896.
26. Id., Action des vapeurs anesthésiques sur la vitalité des graines sèches. *C. R.*, t. CXXIX, p. 564, 1899.
27. CHALON, La graine des Légumineuses. Mons, 1875.
28. CHATIN, Sur le développement de l'ovule et de la graine. *Ann. des Sc. nat.*, 3^e série, 1874.
29. DAVIS, Result. of experiments on the dessication of Rotifers. *Monthly. Micr. Journ.*, IX, 201-209.
30. DASTRE (A.), La vie et la mort. Paris, Flammarion, 1906.
31. DETMER, Vergleichende Physiologie d. Keimungs processus d. Samen, 1880.
32. DARWIN (C.), On the action of sea water on the germination of seeds. *Journ. Linn. Soc.*, p. 430, 1837.
33. Id., Origine des espèces. Traduct. Barbier. Reinwald, 1887.
34. DOYERE, Conservation des graines par l'ensilage rationnel. Paris, 1862.
35. Id., Recherches sur l'alcule. *Ann. de l'Inst. agronom.*, t. I, p. 269, 1852.
36. DIXON (H.), Sur la résistance des graines aux hautes températures. *Nature*, p. 256-257. Londres, 1901.
37. DESMOULIN (C.), Sur les graines des tombeaux mérovingiens. *Actes de la Soc. linn. de Bordeaux*, 1833-1846.
38. DYER-THYSELTON, Influence de l'hydrogène liquide sur les graines. *Ann. de Bot.*, p. 599-606, 1901.
39. DUCHARTRE, *Traité de Botanique*. Baillière, Paris, 1885.
40. DUCLAUX, Action de la lumière solaire sur les hydrates de carbone. Paris, 1880.
41. DEVAUX, Thèse de doctorat sur le mécanisme des échanges gazeux des plantes aquatiques, 1889. Paris, Masson.
42. EDWARDS et COLIN, De l'influence de la température sur la germination. *Ann. des Sc. nat.*, 2^e série, 1834, I, p. 257-270.
43. EXNER, Lois de la diffusion des gaz. *Wien. Ber.*, p. 263, 1877, et *Pogg. Ann.*, p. 321, 1875.
44. EWART, Vitality and germination of seeds. *L. pool. Biol. Soc.*, 8-207, 1894.
45. ERRERA (Leo), Sur l'hygroscopicité comme cause de l'action physiologique à distance. *Bull. de l'Inst. Errera*, t. VI, p. 303, 1906.
46. ESCOMBE, The vitality of dormant and germinating seeds, *Sc. progress.*, nouv. série, I, 585-608.
47. FLICHE (P.), Observations relatives à la flore des jeunes taillis. *C. R. Acad. des Sc.*, 25 avril 1905.
48. MAC-FAYDEN, Sur la résistance des bactéries lumineuses à la température de l'hydrogène liquide. *Ann. de Bot.*, 587-589, 1902.
49. FRÄNKEL, Die Einverkung der kohlensäure auf die Lebensthätigkeit der microorg. *Zeitsch. f. hyg.*, V.
50. GÉRARDIN, Faculté germinative des graines. Paris, 1809.
51. GRIFFON (E.), Article GERMINATION du *Dictionnaire de physiologie* de Ch. Richet. Paris, 1905.
52. GODFRIN, Étude sur les téguments des graines des Angiospermes. Nancy, 1880.
53. GOLA (J.), Mémoire sur la physiologie des téguments des graines. *Acad. de Turin*, 1905.
54. GAUTIER (Armand), Remarque sur la vie latente. *C. R. de l'Acad. des Sc.*
55. ITALO GIGLIOLI, Résistance des graines aux agents chimiques et sur la vie latente des graines. *Nature*, 3 octobre 1895. London.

56. JUELLE (H.), Sur la respiration et l'assimilation des Lichens aux basses températures. *Rev. gén. de Bot.*, t. IV.
57. JODIN (V.), Action de la chaleur sur la vie latente des graines. *C. R. Acad. des Sc.*, CXXIX, p. 893, 1899.
58. Id., Action de la lumière solaire sur la durée germinative des graines. *C. R. Acad. des Sc.*, p. 443, 1902.
59. Id., Mémoire sur la vie latente des graines et leur germination. *Ann. agronom.*, t. XXIII, p. 430-471.
60. JUST, Ueber der Einwirkung höherer Temperaturen. *Cohns Beiträge zu Biol. d. Pflanzen*, 1877.
61. KOCHS, Kann die Continuität der Lebensvorgänge zeitweilig völlig unterbrochen werden. *Biol. Centralbl.*, X, 673-686, 15 déc. 1890.
62. KURZVELLY, Résistance des organismes végétaux desséchés aux substances toxiques. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, t. XXXVIII, p. 341.
- 62 bis. KOLKOWITZ, Ueber die Athmung ruhender Samen. *Ber. Deut. Ges.*, Bd XIX, 1901, p. 283-287.
63. GAIN (E.), Sur les grains de blé pharaonique. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, CXXX, 1900, p. 1643.
64. Id., Sur le vieillissement des graines. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, CXXXIII, 1901, p. 1248.
65. LEWIS, Ueber die Ursache der Widerstandsfähigkeit der Sporen gegen hohen Temperaturen. *Arch. f. exper. path.*, XXVI, p. 341, 1890.
66. LEMONNIER, Recherches sur la nervation de la graine. *Ann. des Sc. nat.*, 5^e série, XVI, 1872.
67. LAMEK, Sur la faculté germinative de certaines espèces de graines. *Biedern. centr.*, XVIII, p. 283, et *Ann. agronom.*, t. XV, p. 431.
68. LAURENT (E.), Sur la durée de la faculté germinative des graines exposées à la lumière. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, 1902, p. 1295.
- Id., Expériences sur la durée du pouvoir germinatif des graines conservées dans le vide. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, 1902, p. 1902.
69. MANGIN, Recherches sur la pénétration des gaz dans les plantes. *Ann. de la Science agronom. française et étrangère*, 1888.
70. Id., Études sur la végétation dans ses rapports avec l'aération du sol. *Ibid.*
71. MAQUENNE, Sur l'hygrométrie des graines et leur dessiccation. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, CXXIX, p. 733.
72. Id., L'action des hauts vides sur la vie latente des graines. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, CXXXIV, p. 1243.
73. Id., Sur la conservation du pouvoir germinatif des graines. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. CXXXV, p. 208.
74. Id., Sur la dessiccation absolue des matières végétales. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, 16 octobre 1903.
75. MATRUCHOT et MOLLIARD, Études sur le gel. *Rev. gén. de Bot.*
76. NOBBE, Handbuch der Samenkunde. Berlin, 1876.
77. PFEFFER, Traité de Physiologie. Traduit par Friedel. Paris, Schleicher, 1906.
78. PFLUGER, Die Allgemeinen Lebenserscheinungen. Bonn, 1889.
79. PICTET (R.), De l'emploi méthodique des basses températures en biologie. *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, 1893.
80. POISSON (J.), Durée du pouvoir germinatif des graines. *Bull. de la Soc. de bot. de France*, 1903.
81. PETER, Recherches sur les graines enfouies dans le sol des forêts. *Mém. de l'Univ. de Göttingen*, 1893-1894.
82. POUCHET, Résistance des graines de Luzerne à l'action de l'eau bouillante. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, t. LXIII, p. 539, 1866.

83. ROMANES, Sur la vie latente des graines. *Proc. royal Society*, dans *Nature*, 16 novembre 1893.
84. SIRODOT, Sur la germination des graines enfouies. *Ann. des Sc. nat.*, 5^e série, t. X, p. 65.
85. SALTER, On the vitality of seeds after prolonged submersion in the Sea. *Journ. Linn. Soc.*, p. 140, 1849.
86. UNGER, Die Pflanzen des alten Ägyptens.
87. VAN TIEGHEM, *Traité de botanique*. Paris, librairie Savy, 1891.
88. VAN TIEGHEM et BONNIER (G.), Recherches sur la vie latente et la vie ralentie. *Ann. agronom.*, déc. 1880, p. 520; *Bull. de la Soc. bot. de France*, janv. 1882, p. 25; *id.*, 28 avr. 1882, p. 148.
89. WIESNER et MOLISCH, Untersuchungen über die Gerbewegung in den Pflanzen. *Sitzb. d. k. Akad. d. wiss. Wien*, 1889, vol. XIII.
90. WERNIKE, Impénétrabilité des téguments d'Acacia et de *Lathyrus silvestris*. *Ann. agronom.*, p. 544, 1895.
91. WHARTMANN (E.), Influence des froids excessifs sur les graines. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, p. 2-77, 1860; *id.*, p. 340, 1881.
92. WHITE, Flora of the Avon bed. *Trans. Bristol Nat. Soc.*
93. WINKLER, Bemerkungen über die keimfähigkeit des Samens der Phanerogamen. *Biol. Centralbl.*, 1879.
94. WITTMARK, Ueber die in Pompei gefundene Pflanzlichen Reste. *Bot. Jahrb.*, XXXIII, n° 5, Beiblatt. 73, p. 56.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE.....	193
CHAPITRE I ^{er} . — Vie suspendue ou vie ralentie.....	195
CHAPITRE II. — Idée directrice de ce travail. Rôle du tégument de la graine.....	202
Imperméabilité du tégument de quelques graines :	
§ 1. — Aux gaz de l'atmosphère.....	203
§ 2. — A l'alcool absolu.....	211
§ 3. — A l'éther et au chloroforme à l'état de vapeur et de liquide.....	214
CHAPITRE III. — Résistance des graines aux températures extrêmes.....	220
§ 1. — Action de la chaleur.....	220
§ 2. — — des basses températures.....	222
§ 3. — La vie est-elle suspendue par les basses températures?.....	228
CHAPITRE IV. — Durée de la vie latente des graines.....	231
§ 1. — Graines des anciennes sépultures.....	232
§ 2. — Graines enfouies dans le sol.....	235
§ 3. — Graines des anciennes collections et des herbiers.....	244
§ 4. — Expériences sur la longévité des graines.....	245
CHAPITRE V. — Échanges gazeux des graines.....	257
§ 1. — Action de l'air.....	257
§ 2. — — de l'obscurité.....	263
§ 3. — de la lumière.....	264
§ 4. — — du tégument.....	267
§ 5. — — de l'hydratation.....	270
CHAPITRE VI. — Nature des échanges gazeux des graines.....	271
§ 1. — Les échanges gazeux des graines après leur mort.....	271
§ 2. — Influence des gaz irrespirables, l'azote et l'acide carbonique....	272
§ 3. — Action du mercure.....	278
§ 4. — — du vide.....	280
CHAPITRE VII. — Déshydratation des graines et conservation de leur pouvoir germinatif.....	286
§ 1. — La dessiccation naturelle des graines.....	286
§ 2. — L'hygroscopicité des graines.....	287
§ 3. — La dessiccation artificielle des graines.....	289
§ 4. — La déshydratation des graines et l'explication de la vie latente..	295
§ 5. — Le protoplasma desséché est-il stable dans le vide?.....	297
CONCLUSIONS GÉNÉRALES : Vie ralentie intra-cellulaire, anaérobie ou vie suspendue.....	298
BIBLIOGRAPHIE.....	308

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

ZOOLOGIE. — LES ANIMAUX DITS RÉVIVISCENTS.

GÉOLOGIE. — RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE ET CAUSE DES TREMBLEMENTS DE TERRE.

Vu et approuvé : Paris, le 23 Mars 1907.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

PAUL APPELL.

Vu et permis d'imprimer : Paris, le 23 Mars 1907.

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

L. LIARD.

